

Facultad de Ingeniería
Maestría en Gerencia de Ingeniería

Mejoramiento de los criterios y técnicas de control que definen la cantidad del inventario de repuestos de mantenimiento para los activos productivos de Kimberly Clark Colpapel.

Presentado por:

Carlos Alberto Cifuentes Román.

Director:

Gonzalo Enrique Mejía Delgadillo.

Mayo 20 de 2021



Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del Jurado

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	7
INTRODUCCIÓN.....	8
REVISIÓN DE LITERATURA	10
OBJETIVOS.....	20
OBJETIVO GENERAL.....	20
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	20
METODOLOGÍA	21
APRENDIZAJES.....	40
GESTION DEL CAMBIO E INTEGRACION DE LA HERRAMIENTA.....	41
CONCLUSIONES	43
Anexo 1 - Tabla de Cálculos para muestra de 40 repuestos.....	44
Anexo 2 - Base de Cálculos para muestra de 5 repuestos.....	45
BIBLIOGRAFIA.....	48

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1 Proceso de Transformación Control del inventario de repuestos	9
Figura 2 Evolución de Stock del repuesto Cuchilla Cort 1/8*1*9" 042591 Everwear PM SAP	23
Figura 3 Evolución de stock repuesto Cuchilla,123"X1,"X5,5" PM SAP	24
Figura 4 Evolución de stock repuesto CUCHILLA CORTE 1/8" * 1* 5" PM SAP	25
Figura 5 Evolución de stock repuesto Cuchilla Corte 1545519 Everwear PM SAP	25
Figura 6 Evolución de stock repuesto HOJA CUCHILLO,1545519, EVERWEAR INC PM SAP	26
Figura 7. Proceso de Inventario Ideal Modelo Heurístico. (Hopp et al.1997).....	27
Figura 8 Framework estratégico de gestión del cambio	41

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Modelos de Clasificación de Repuestos.	14
Tabla 2. Modelos para calcular el stock de repuestos críticos.	18
Tabla 3. Elementos críticos seleccionados del inventario de Kimberly Clark Colpapel.....	22
Tabla 4 Repuestos Tipo Cuchilla para definición de Stock.	31
Tabla 5 Restricciones para el modelo.....	31
Tabla 6 Calculo de r_i y Q_i mediante modelo heurístico I (Hopp et al. 1997)	31
Tabla 7 Restricción de Nivel de Servicio aplicada al modelo heurístico I (Hopp et al. 1997)	32
Tabla 8 Restricción de órdenes de aprovisionamiento aplicada al modelo heurístico I (Hopp et al. 1997).....	33
Tabla 9 Órdenes de aprovisionamiento calculadas por material según modelo heurístico I (Hopp et al. 1997).....	34
Tabla 10 Costos de importación estimados de acuerdo a la nueva política de inventario..	34
Tabla 11 Costos de repuestos estimados de acuerdo a la nueva política de inventario – Ahorro 2%.....	35
Tabla 12 Repuestos de Media Rotación - Rodamientos.	36
Tabla 13 Calculo de r_i y Q_i mediante modelo heurístico I (Hopp et al. 1997)	36
Tabla 14 Órdenes de Aprovisionamiento para rodamientos	37
Tabla 15 Calculo de r_i y Q_i variando ajuste $v = 1846$	37
Tabla 16 Repuestos de Baja Rotación- Componentes Electrónicos	38
Tabla 17 Modelo Heurístico I (Hopp et al. 1997), aplicado a 40 repuestos al azar	44
Tabla 18 Aplicación del modelo heurístico (Hopp et al. 1997) Cuchilla Corte 1/8*1*5”	45
Tabla 19 Aplicación del modelo heurístico (Hopp et al. 1997) Cuchilla Corte 123” *1*5.5”	45
Tabla 20 Aplicación del modelo heurístico (Hopp et al. 1997) Cuchilla Corte 1/8*1*5”	46
Tabla 21 Aplicación del modelo heurístico I (Hopp et al. 1997) Cuchilla Corte C153M 1/8*1*5”	46
Tabla 22 Aplicación del modelo heurístico (Hopp et al. 1997) Cuchilla Corte 1545519 Everwear:.....	47

RESUMEN

En la industria de manufactura existen activos productivos que exigen una cantidad de repuestos de mantenimiento para garantizar la disponibilidad y vida útil. En el caso de Kimberly Clark Colpapel, la cantidad de inventario de repuestos de la compañía es seleccionada mediante criterios como: Impacto en la producción, impacto en la seguridad de las personas o impacto en la calidad de los productos. Con este estudio se busca mejorar los criterios que definen la criticidad y cantidad de repuestos y explorar técnicas de control para obtener un balance entre el costo de capital del inventario y la disponibilidad de las líneas de producción.

Se propone una revisión de criterios cualitativos y cuantitativos para definir la criticidad y cantidad ideal de repuestos. Así mismo, se realizará un análisis de las técnicas de control de inventario para cierto tipo de repuestos dependiendo de su criticidad. Con esta información, se presentará una herramienta de decisión que integre los criterios seleccionados y determine cuál debe ser el inventario mínimo de una muestra de repuestos. Se espera como resultado una mejor distribución en la cantidad de repuestos y el uso de técnicas de control de inventario apropiadas para reducir el costo de capital de inventario sin perder confiabilidad en la operación de la planta de Kimberly Clark Colpapel.

INTRODUCCIÓN

Kimberly Clark, como compañía de producción de artículos de consumo masivo, tiene como visión ser líder del mercado en comercialización de productos de cuidado personal de alta calidad al menor costo para el consumidor. Por esto, sus objetivos estratégicos están alineados a mejorar la productividad y venta reduciendo los costos operacionales, siendo el costo de mantenimiento, uno de los que impacta directamente a la compañía al garantizar la operación continua de los activos productivos.

El 70% del costo de mantenimiento viene dado por la cantidad de repuestos que se almacenan en el inventario para garantizar la disponibilidad de las líneas de (Kimberly-Clark, 2021). Entonces, si el proceso de gestión y control de repuestos del inventario no es el adecuado, la compañía será impactada en sus costos de mantenimiento y en consecuencia pondrá en riesgo su productividad ya que sus activos no tendrán el rendimiento esperado.

De acuerdo con el último reporte de inventario de repuestos de la compañía en el mes de abril (Kimberly-Clark, 2021), la planta cuenta con 10.175 piezas de repuesto en el inventario con un costo total de 3.434 millones de pesos. De estas, 4.298 piezas no se han utilizado en los últimos tres años y su costo de capital es de 684 millones de pesos. Estos indicadores son consecuencia de la incertidumbre para definir cuáles repuestos son necesarios con el fin de garantizar la operación de los activos productivos, lo que ha producido un aumento en el número de piezas en inventario buscando minimizar las pérdidas de funcionamiento en las máquinas.

La situación actual permite concluir que no existe un método para definir la criticidad de los repuestos de mantenimiento de la compañía y en consecuencia no se cuenta con un modelo que determine los parámetros de inventario para las piezas críticas. De igual forma, Kimberly Clark Colpapel cuenta con un sistema ERP donde se pueden configurar los puntos de reorden y lote mínimo en función de una política definida. Sin embargo, actualmente estos parámetros se ajustan a criterio del

analista de inventarios y no tienen una política de control asociada. En la figura 1 se muestra cual es el proceso a impactar dentro de la compañía teniendo en cuenta el estado actual y el deseado.

Figura 1 Proceso de Transformación Control del inventario de repuestos



Bajo este estudio se propone a la compañía mejorar el proceso de control del inventario de repuestos mediante la selección de los mejores criterios para definir cuáles repuestos deben ser almacenados y encontrar un balance entre el costo del inventario y la continuidad en la operación de los activos productivos. Esto permitirá a la compañía contar con un inventario cuidadosamente seleccionado en función de las necesidades que requiere la planta de producción.

REVISIÓN DE LITERATURA

Los repuestos en la industria, son piezas almacenadas en un lugar definido y que se usan en tareas de mantenimiento para solucionar averías en los activos productivos. En Kimberly Clark Colpapel se encuentran piezas mecánicas, eléctricas y electrónicas que se clasifican de acuerdo a su criticidad y el impacto que puedan ocasionar sobre el activo productivo.

Las piezas pueden clasificarse en tres familias de acuerdo con el número de veces que son usadas en una reparación o mantenimiento. Estas son: I) Repuestos de alta rotación; II) Repuestos de media rotación; III) Repuestos de baja rotación. Los repuestos de alta rotación son aquellos que se usan más frecuentemente en las reparaciones. Los rodamientos y lubricantes son algunos ejemplos de piezas de alta rotación. La segunda familia son las piezas de media rotación, estas son usadas en las rutinas de mantenimiento programado. Las bandas transportadoras pueden considerarse un repuesto de este tipo. Finalmente, se encuentran los repuestos de baja rotación cuya característica principal es que no son usados frecuentemente en las reparaciones. Los componentes electrónicos se consideran repuestos de baja rotación debido a que su tiempo entre fallas es alto (Hu *et al.* 2017).

La clasificación de las piezas se realiza para construir modelos de inventario y definir políticas de control de la cantidad de repuestos en la industria. Estos modelos tienen como objetivo analizar los riesgos que pueden materializarse si no se tiene un inventario suficiente de elementos para dar continuidad a la operación. Por lo general, un modelo de inventario tiene en cuenta un porcentaje aceptable de riesgo en la determinación de los requisitos de inventario adecuados. Algunos de los criterios usados como información base para estos modelos son: Criticidad por pérdida de operación de los activos productivos y ciclo de vida útil de las piezas. Aunque en varias organizaciones se usan los mismos criterios, la evaluación se hace de forma diferente según la naturaleza del proceso productivo y las políticas de mantenimiento de las compañías (Miranda *et al.* 2019).

Los modelos matemáticos que permiten personalizar soluciones a industrias particulares permiten adaptar múltiples criterios en una herramienta de análisis, teniendo en cuenta las condiciones de nivel de servicio y número de órdenes de aprovisionamiento definidas por la compañía (Hopp *et al.* 1993). La aplicación de estos propone criterios como: Nivel de rotación del repuesto, origen del repuesto, criticidad para la operación de los activos, costo del repuesto, número de órdenes de compra emitidas al año, nivel de demanda en un tiempo definido de análisis y tiempo de llegada del repuesto (lead Time).

A nivel industrial, la administración de materiales técnicos (repuestos) se convierte en un reto debido a la alta variedad de piezas, plazos de compra diferenciados, alta variabilidad en los costos y rotación dependiendo del proceso en específico donde el repuesto es usado (Cavalieri *et al.* 2008). La revisión de literatura establece que es necesario realizar una clasificación de los repuestos bajo criterios que definan su criticidad y que deben ser mantenidos en stock para sostener la operación de los activos productivos. De acuerdo con Cavalieri *et al.* (2008), se puede evaluar la criticidad de un repuesto a través de métodos cuantitativos y cualitativos. Estos toman como base la selección de un criterio para clasificar las partes, sin embargo, resultan prácticos para clasificar, de forma rápida e intuitiva, una gran cantidad de repuestos.

Dentro de los métodos cuantitativos se encuentra la clasificación tipo Pareto ABC en donde se usa un solo criterio para determinar la criticidad. Algunos de los criterios tomados para realizar esta clasificación son el costo del repuesto, periodicidad de falla, el tiempo de rotación de los repuestos. Otro de los métodos cuantitativos usados es FSN que evalúa la demanda de los repuestos en un intervalo de tiempo y los clasifica en F: *fast moving* (más de 10 partes en un tiempo t), S: *Slow moving* (menos de 10 partes en un tiempo t) y N: *Non Moving*. Esta clasificación puede entregar información acerca de la obsolescencia del repuesto (Cavalieri *et al.* (2008).

Cavaliere *et al.* (2008), establece un análisis cualitativo para hacer una clasificación de las piezas basado en la experiencia y conocimiento de la operación del personal de mantenimiento. El análisis cualitativo define la criticidad de un repuesto bajo tres parámetros: Piezas vitales (V), piezas esenciales (E) y piezas deseables (D). Los criterios usados para esta definición son el impacto en la producción, la seguridad de las personas, la disponibilidad de los equipos.

Al encontrar que varios criterios eran necesarios para definir la criticidad de repuestos, los autores prevén la necesidad de un análisis multicriterio para clasificarlos. La primera aproximación es un modelo matricial basado en el costo de disponibilidad del activo, tiempo de entrega y número de fallas por unidad de tiempo. Aunque la definición de criticidad aborda más criterios, el hacer el ejercicio para un almacén de repuestos sin clasificar requiere de alta complejidad en información, costos y tiempo (Roda *et al.* 2014).

Braglia *et al.*,(2004) realiza un análisis cuantitativo combinando criterios como pérdida de producción, tiempo de espera, potenciales proveedores del repuesto, redundancia, obsolescencia, entre otros, para calcular la criticidad del repuesto. Utilizando la metodología de análisis de procesos jerárquicos (AHP) logra integrarlos y establecer cuantos repuestos son críticos que deben mantenerse en inventario. Este es un método de apoyo calculando un total índice de criticidad para piezas de repuesto, sin embargo, los pesos de cada uno de los criterios en la metodología se asignan de acuerdo a la experiencia de la persona que los evalué influyendo en el resultado final de la evaluación.

Teniendo en cuenta la subjetividad en los criterios utilizados, Ramanathan, (2004) propone una metodología basada en una función aditiva ponderada, para reducir la subjetividad en la asignación cuantitativa de la importancia de cada criterio. En su estudio realiza la comparación con una clasificación ABC tradicional y una clasificación ABC usando AHP. Como resultado se encuentra una distribución más equitativa en la asignación de importancia de los 4 criterios evaluados. Además

concluye que hay 40% de semejanzas en la clasificación ABC tradicional y ABC mediante AHP.

En línea de los análisis multicriterio, Marseguerra *et al.* (2005) propone una metodología para la optimización multiobjetivo de la asignación de repuestos mediante la combinación de un algoritmo genético de búsqueda y una evaluación de Montecarlo de las funciones objetivo. Gracias a la flexibilidad de Monte Carlo, aspectos prácticos como procesos de falla relacionados con la edad, repuestos impulsados por mantenimiento demandas y otros pueden tenerse en cuenta.

Como evolución de las metodologías multicriterio para clasificar el inventario de repuestos a nivel industrial, Chen *et al.* (2019) propone una clasificación de las partes y estrategias asociadas para abordar las soluciones de gestión de inventarios desde el perspectiva de las tecnologías de la Industria 4.0. También propone una técnica de agrupamiento que clasifica automáticamente todos los repuestos en grupos apropiados para enfocar la consideración de la innovación tecnológica apropiada. La clasificación de los repuestos con esta metodología depende de la demanda y el lead time de las partes, estableciendo patrones de uso (Erratic, lumpy, smooth, intermitent).

En la Tabla 1 se presenta el resumen de los modelos de clasificación de repuestos evaluando sus ventajas y desventajas.

Al

Modelo	Definición	Referencias	Ventajas	Desventajas
Pareto ABC	Clasificación cuantitativa de repuestos mono criterio. Algunos de los criterios usados son el costo del repuesto, periodicidad de falla, el tiempo de rotación de los repuestos	Cavalieri et al. (2008)	Fácil de usar para clasificar un número elevado de ítems en el inventario. El criterio depende de la persona que administre el inventario y es de fácil trazabilidad.	Solo puede usar un criterio para la evaluación de criticidad
FSN	Clasificación cuantitativa de repuestos mono criterio en cuenta su demanda de uso.	Cavalieri et al. (2008)	Usado a nivel industrial de acuerdo a la variedad de repuestos. Entrega Información de obsolescencia del repuesto.	Solo puede usar un criterio para la evaluación de criticidad
VED	Clasificación cualitativa mono criterio que define la criticidad de un repuesto bajo tres parámetros: Piezas vitales (V), piezas esenciales (E) y piezas deseables (D).	Cavalieri et al. (2008)	Fácil de aplicar para clasificar un número elevado de ítems en el inventario y no se identifica la criticidad. Usado a nivel industrial de acuerdo a la variedad de repuestos y su impacto económico	Solo puede usar un criterio para la evaluación de criticidad
ABC - AHP	Clasificación multicriterio ABC usando un árbol de jerarquía de procesos.	Braglia et al.(2004)	Combinación de varios criterios calculando un índice total de criticidad para los repuestos.	Subjetividad en la importancia de los criterios al depender de juicios de expertos.
Función Aditiva Ponderada	Clasificación multicriterio ABC, dando pesos a los criterios en la metodología propuesta por Braglia et al.(2004)	Ramanathan, (2004)	Mediante una función de optimización logra dar pesos adecuados a los criterios para calcular un índice total de criticidad para los repuestos.	Baja Aplicación en la industria en un inventario con muchas piezas de recambio
Algoritmos Genéticos	Clasificación multicriterio usando algoritmos genéticos	Marseguerra et al. (2005)	Herramienta analítica para tomar decisiones a partir de modelos matemáticos	Aplicabilidad muy baja a casos industriales reales y limitado en revisión de literatura
Clasificación basada en tecnologías de industria 4.0	Clasificación multicriterio usando Big Data. Depende de la demanda y el lead time de las partes, estableciendo patrones de uso (Erratic, lumpy, smooth, intermitent).	Chen et al. (2019)	A partir de múltiples criterios y variables, usando varias fuentes de información puede encontrar patrones de demanda y proponer una política de gestión	Es una tecnología poco desarrollada a nivel industrial y la ausencia de información puede llevar a resultados erróneos.

Tabla 1. Modelos de Clasificación de Repuestos.

Al revisar los modelos de clasificación de repuestos, El modelo basado en tecnologías de industria 4.0 presentado por Chen et al.(2019) exige una gran cantidad de información (big data) de múltiples fuentes para definir la criticidad de un repuesto, lo que se convierte en una restricción dentro del proyecto al tener información confidencial que no puede ser usada. Además, no hay aplicaciones a nivel industrial referenciadas de este modelo, por lo cual no se considera para esta aplicación. Por otra parte, los modelos basados en algoritmos genéticos y función aditiva ponderada tienen baja aplicabilidad en la industria y resultan restrictivos al analizar un conjunto de repuestos en el inventario. Además, han sido verificados y aplicados en casos muy particulares sin determinar si estos modelos pueden llevarse a una aplicación industrial. En el Modelo ABC – AHP, la relatividad en los pesos de cada uno de los criterios puede hacerlo subjetivo y similar al modelo ABC

tradicional como lo prueba el estudio realizado por Ramanathan, (2004). Bajo este análisis, Los modelos ABC, FSN y VED se consideran los más apropiados para definir la criticidad de los repuestos por su facilidad de implementación, obteniendo una clasificación ágil para una elevada cantidad de repuestos y aplicabilidad en diferentes industrias. Además, es de alta importancia involucrar el análisis de las personas encargadas de gestionar el mantenimiento de las líneas de producción y el modelo VED permite conseguir esta información. Aunque los modelos ABC, FSN y VED son monocriterio, se propone una evaluación de diferentes perspectivas en cada modelo para determinar la criticidad del repuesto.

Conociendo los métodos para encontrar los repuestos críticos, es necesario realizar una revisión a las herramientas y/o modelos que permitan definir cuántos de estos elementos críticos deben permanecer en el inventario para sostener la disponibilidad de los activos productivos al mejor costo. Con este fin, Hopp et al, (1997), desarrolla 3 modelos heurísticos para determinar la cantidad de repuestos que se deben almacenar, teniendo en cuenta una restricción de nivel de servicio y número de pedidos. Este puede ser integrado fácilmente a un proceso de manejo de inventarios ya que los métodos heurísticos se diseñaron para que puedan ser evaluados y aplicados sin tanta complejidad matemática y tecnológica dentro de una compañía.

Braglia *et al.* (2004), propone el análisis del repuesto mediante un árbol múltiples atributos con el fin de determinar la cantidad de la pieza en el inventario. El enfoque se basa en dos pasos. En el primero, la metodología reconoce cuatro criterios para definir la criticidad de los repuestos y usa un árbol lógico para calcular el aprovisionamiento. En el segundo paso, se cruzan estos criterios con diferentes estrategias de gestión de inventarios, con el fin de obtener una matriz de política de gestión de inventarios. Con este análisis, se determina que políticas a usar para repuestos de acuerdo a su criticidad, sin embargo, no es posible determinar con certeza la cantidad de repuestos que se deben almacenar en el inventario. Además, los criterios son seleccionados mediante juicio de expertos, lo cual hace difícil replicarlos a diferentes industrias.

Desde el punto de vista de Cavalieri *et al.* (2008), se requieren técnicas especiales de pronóstico para la cantidad de repuestos críticos en la industria; de hecho, una característica común de los artículos de repuesto es su relativamente bajo nivel de consumo; a diferencia de los materiales utilizados directamente en el flujo de producción. En su estudio propone un método para estimar la demanda de un repuesto crítico considerando las tasas de falla constantes y el número de motores instalados, asumiendo un funcionamiento comparable condiciones en diferentes industrias. Sin embargo, su estudio encontró dos restricciones para definir el nivel de stock de las partes críticas. La variabilidad en los tiempos de reparación y la ponderación en los costos asociados, donde se propuso una solución centralizada, teniendo en cuenta varias sedes a nivel global, que implica un mínimo de gastos.

En otra perspectiva, Oldekeizer *et al.* (2016), hace énfasis en que la planificación de mantenimiento eficiente (basada en la condición) y control de inventario de repuestos para componentes críticos pueden determinar conjuntamente la eficacia de una estrategia de mantenimiento y, por lo tanto, equilibrar el tiempo de actividad del sistema y costos de mantenimiento. A través de un proceso de decisión de Markov busca determinar la cantidad de partes requeridas para los sistemas de operaciones de manufactura. En su estudio afirma que este método puede estar lejos de ser óptimo para sistemas que constan de pocos componentes, lo cual plantea una restricción al análisis de ciertos equipos con alto nivel de criticidad en la realidad.

Bonou *et al.* (2017) realiza una recopilación de los modelos de gestión de inventario a través de la determinación del nivel de stock, cantidad pedida y tiempo de realización del pedido teniendo en cuenta varios datos como riesgo de rotura, mantenimiento y reparación de piezas. En su revisión presenta una serie de modelos clásicos de determinación de nivel de inventario combinado con un análisis de criticidad de los repuestos. Selecciona el “modelo Wilson” como el más utilizado y recomendado cuando la tasa de demanda y el período de reabastecimiento son conocidos y constantes.

Los modelos más actuales para determinar el stock necesario de los repuestos críticos en conjunto con el desarrollo de los sistemas de información integran el ciclo de vida útil del activo y el mantenimiento planeado como herramienta de control de las piezas. Es así, como en el estudio realizado por Duran *et al.* (2019), se considera el ciclo de vida de activos, la tasa de fallas y los costos logísticos de repuestos no reparables para determinar el stock de repuestos críticos para la industria. A partir de un modelo que combina el costo basado en actividades (ABC) y el costeo del ciclo de vida (LCC) busca determinar y gestionar inventarios críticos de repuestos no reparables.

Por otro lado Miranda *et al.* (2019) considera la existencia de tres pequeños almacenes dedicados, donde cada uno contiene inventario para ciertas piezas en específico que son requeridas para actividades de mantenimiento. Cada vez que se requiere una sola unidad de cualquier repuesto, basado en un mantenimiento correctivo o preventivo, la unidad se recoge del almacén correspondiente para la posterior operación de mantenimiento. Esta estrategia puede ser considerada útil si se tiene un sistema de información que permita realizar el control simultáneo de tres almacenes. Además, puede resultar interesante establecer un almacén para cada clasificación de repuestos, lo que permitiría tener un control visual del inventario.

Zhu *et al.* (2020), enfoca su estudio en examinar las políticas de mantenimiento preventivo de la organización como fuente de información anticipada sobre la demanda de repuestos. Propone un mecanismo de pronóstico simple para estimar la distribución de la demanda de repuestos basada en el plan de mantenimiento y desarrollo de un control de inventario dinámico, método basado en estos pronósticos. El valor de este enfoque se compara con series de tiempo de última generación utilizando datos de dos grandes organizaciones de mantenimiento. Finalmente, desde este enfoque se busca optimizar todo el ciclo de mantenimiento y en consecuencia la cantidad de repuestos necesaria para este fin. Sin Embargo, en la realidad cambiar la estructura y funcionamiento del área de gestión de

mantenimiento se convierte en una restricción ya que depende de la visión de la organización.

Modelo	Definición	Referencias	Ventajas	Desventajas
Modelos heurísticos	Determina la cantidad de repuestos que se deben almacenar, teniendo en cuenta una restricción de nivel de servicio y número de pedidos	Hopp et al.(1997)	Este puede ser integrado fácilmente a un proceso de manejo de inventarios. Permite la integración de múltiples variables para definir el stock del repuesto. Aplicaciones conocidas a nivel Industrial.	Las restricciones de Nivel de servicio y ordenes de Pedido dependen del criterio de la compañía donde se implemente.
Árbol de múltiples atributos.	la metodología reconoce cuatro criterios para definir la criticidad de los repuestos y usa un árbol lógico para calcular el aprovisionamiento	Braglia et al.(2004)	Se determina que políticas usar para repuestos de acuerdo a su criticidad	No es posible determinar con certeza el stock de repuestos particulares. Método difícil replicarlos a diferentes industrias.
Estimación de la demanda del repuesto.	Considera las tasas de falla y el número de partes instaladas en la compañía.	Cavalieri et al. (2008)	Aplicaciones conocidas a nivel Industrial. Este puede ser integrado fácilmente a un proceso de manejo de inventarios.	La variabilidad en los tiempos de reparación y la ponderación en los costos asociados. Información de las tasas de falla en un contexto real.
Proceso de Decisión de Markov	Busca determinar la cantidad de partes requeridas para los sistemas de operaciones de manufactura	Oldekeizer et al. (2016)	Integra modelos probabilísticos y matemáticos para el cálculo de la demanda de repuestos.	No óptimo para sistemas que constan de pocos componentes. Modelos matemáticos que requieren software adicional para su proceso de cálculo. Dificil integración a procesos de inventario en la industria
"Modelo Wilson"	Determinación de nivel de inventario combinado con un análisis de criticidad de los repuestos	Bonou et al.(2017)	Permite la integración de múltiples variables para definir el stock del repuesto.	Periodo de reabastecimiento son conocidos y constantes. Poca aplicación en la industria.
Pronósticos de la demanda - Series de tiempo	Pronosticar la demanda de los repuestos basado en series de tiempo de última generación y grandes volúmenes de datos	Zhu et al. (2020),	Optimización de todo el ciclo de mantenimiento y en consecuencia la cantidad de repuestos necesaria para este fin	Dificil integración a procesos de mantenimiento actuales. Implica cambios organizacionales en gestión de mantenimiento.

Tabla 2. Modelos para calcular el stock de repuestos críticos.

De acuerdo a la problemática presentada en Kimberly Clark Colpapel, se requiere evaluar si los criterios para definir la criticidad son los correctos y evaluar si los parámetros de inventario son los adecuados haciendo el balance entre la cantidad almacenada en inventario y la disponibilidad de los activos productivos. Desde este enfoque, El modelo de Zhu et al.(2020) basado en series de tiempo se basa en la transformación del modelo de mantenimiento y como consecuencia lograr implementar una política de inventario que determine cuantos repuestos críticos deben mantenerse. De acuerdo a esta definición, este modelo se considera a largo plazo ya que implica cambios organizacionales en proceso de gestión de mantenimiento. En cuanto al "Modelo Wilson", citado por Bounou et al.(2020), tiene

restricción en su aplicación y se limita a repuestos con periodo de reabastecimiento constante. En el caso de la aplicación propuesta, el modelo se descarta debido a que una de las características del inventario de repuestos a nivel industrial, Kimberly Clark específicamente, es la variabilidad en los tiempos de reabastecimiento de las piezas. El análisis de múltiples atributos propuesto por Braglia et al. (2004), tiene restricciones en la aplicación a múltiples industrias y su enfoque es el diseño de nuevas políticas de gestión de repuestos en función de los criterios evaluados y no en el cálculo de los parámetros de inventario para una pieza en particular. Por esta razón no es viable su uso para la problemática.

Después del análisis realizado, los modelos Heurísticos de Hopp et al. (1997) permiten realizar los cálculos de los parámetros de inventario para un repuesto en particular teniendo en cuenta restricciones de nivel de servicio y número de órdenes de reaprovisionamiento. El modelo ha sido aplicado en una industria de repuestos de computadores ajustando el inventario a las necesidades de mantenimiento de la compañía por lo cual su implementación puede ser integrada de forma ágil al proceso actual de mantenimiento. Además, el modelo puede ser ajustable a las necesidades de la organización mediante las restricciones de órdenes de aprovisionamiento y punto de reorden que finalmente puede entregar una solución que pueda implementarse en el proceso de mantenimiento de Kimberly Clark.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Mejorar los criterios de control del nivel de inventario de repuestos en los activos productivos de la planta de Kimberly Clark Colpapel, mediante una herramienta de decisión, para hacer más eficiente la cantidad de partes y el costo de capital del inventario.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Seleccionar los mejores criterios que controlen la asignación del nivel de inventario de repuestos en Kimberly Clark Colpapel.
- Diseñar una herramienta de toma de decisiones que defina el nivel de inventario para una muestra de repuestos usando los criterios de clasificación de partes seleccionados.
- Integrar la herramienta a los procesos de gestión de inventario de repuestos del área de mantenimiento de la compañía.

METODOLOGÍA

1. CLASIFICACIÓN DE LOS REPUESTOS:

De acuerdo con el último reporte de inventario de repuestos de la compañía en el mes de abril (Kimberly-Clark, 2021), la planta cuenta con 10.175 piezas de repuesto por lo que se hace necesario primero determinar mediante un método de clasificación de repuestos, cuales repuestos son considerados críticos. Un análisis de criticidad aproximado sirvió inicialmente para identificar el tipo de elementos que deben considerarse estratégicos desde el punto de vista punto de vista de la gestión del mantenimiento.

De acuerdo con el análisis VED realizado con el equipo de gestión de mantenimiento, se consideran como vitales (V) las cuchillas de corte, los rodamientos de motores AC y los controladores electrónicos de las maquinas. Los cuales están instalados en líneas primarias de los procesos de producción y cuya indisponibilidad conduce a la reducción de la capacidad de producción, lo que implica una alta cantidad de costos ocultos. Aplicando una clasificación FSN, (usando la demanda de estos repuestos en los últimos dos años), a los tres tipos de repuestos resultantes del análisis VED para comprender mejor las prioridades. Se consideran las cuchillas como elementos de alta rotación, los rodamientos de media rotación y los controladores electrónicos como repuestos de lenta rotación.

Finalmente utilizando el método ABC, aplicando el criterio de costo donde los elementos por encima de 10 MMCOP se consideran tipo A, Entre 5 MM COP y 10MM COP tipo B y por debajo de 5MMCOP se consideran tipo C. De acuerdo al análisis realizado se considera usar una combinación de modelos de definición de criticidad para comprender mejor el foco de análisis. Por ejemplo, si solo se usa la clasificación ABC, los rodamientos no serían considerados como críticos. Sin embargo, al complementarlos con otros modelos, podemos tener una visión más

amplia de la afectación que genera a la producción la falta de estos elementos. Se seleccionaron estos modelos debido a su gran aplicación a nivel industrial y a que, de acuerdo a su practicidad, permite definir de forma rápida la criticidad y de una muestra grande de repuestos (10.175). En la Tabla 3 se muestra la clasificación usando los métodos VED, FSN y ABC. El orden de evaluación puede ayudar a entender, desde la experiencia del equipo de mantenimiento, cuales repuestos son vitales y así luego evaluar la rotación y el costo con los otros dos métodos.

Repuesto	Cantidad	Costo	Tipo	VED (Impacto en Producción)	FSN (Rotación)	ABC (Costo)
PROCESADOR DE CONTROL,V7768-33000	1	\$ 11,609,344	Controladores Electronicos	Vital	Baja Rotación	A
IHM PRINCIPAL DE CONTROLE D-MAX FIFE	1	\$ 5,957,518	Controladores Electronicos	Vital	Baja Rotación	B
GUIA FIFE POLARIS DP-20 PANEL CONTROL	1	\$ 9,638,585	Controladores Electronicos	Vital	Baja Rotación	A
CONTROL K-TRON KCM LED CPU 4042	1	\$ 4,364,688	Controladores Electronicos	Vital	Baja Rotación	B
ROL DE BOLAS 6005-2RS	20	\$ 322,514	Rodamientos	Vital	Media Rotación	C
ROL BOLA 608 2RS SKF	10	\$ 110,743	Rodamientos	Vital	Media Rotación	C
ROL DE BOLAS 6001-2RS	5	\$ 56,343	Rodamientos	Vital	Media Rotación	C
ROL RIG ESF 20X42X12MM 6004 2RS1	14	\$ 202,640	Rodamientos	Vital	Media Rotación	C
ROL DE BOLAS 6205-2RS	12	\$ 212,160	Rodamientos	Vital	Media Rotación	C
ROL DE BOLAS 6003-2RS	14	\$ 168,640	Rodamientos	Vital	Media Rotación	C
ROL 30X55X13MM 6006 2RS1	8	\$ 169,417	Rodamientos	Vital	Media Rotación	C
ROL DE BOLAS NICE 1616-DC	12	\$ 694,766	Rodamientos	Vital	Media Rotación	C
CUCHILLA CORTE 1/8" * 1" 5"	95	\$ 5,797,850	Cuchillas	Vital	Alta Rotación	B
CUCHILLA ,123"X1,"X5,5"	100	\$ 10,679,400	Cuchillas	Vital	Alta Rotación	A
HOJA CUCHILLO,1545519,EVERWEAR INC	60	\$ 25,630,560	Cuchillas	Vital	Alta Rotación	A
CUCHILLA CORTE C153-M-124748-B-01	60	\$ 6,403,560	Cuchillas	Vital	Alta Rotación	B
CUCHILLA CORT 1/8*1*9" 042591 EVERWEAR	50	\$ 6,994,286	Cuchillas	Vital	Alta Rotación	B

Tabla 3. Elementos críticos seleccionados del inventario de Kimberly Clark Colpapel.

2. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.

El modelo heurístico de Hopp et al. (1997) relaciona el punto de reorden, la cantidad de órdenes de pedido y la demanda del repuesto para determinar si el stock es el adecuado basado en un nivel de servicio y máximo de órdenes de pedido definido por la organización. Es necesario entonces, recopilar la información de la evolución del stock en el inventario para el repuesto tipo cuchillas (tabla 3), considerado como crítico, para realizar los cálculos necesarios según el modelo. Para cada uno de los elementos seleccionados, se realizó el análisis más profundo de evolución en el inventario de forma gráfica, durante los últimos 16 meses.

- **Caso I: Cuchilla Corte - 1/8*1*9” 042591 Everwear**

En el caso del repuesto “Cuchilla Corte 1/8*1*9” 042591 Everwear”, se evidencia un comportamiento similar al del modelo de Hopp *et al* (1997), sin embargo, en el mes de octubre, se evidencian faltantes de este elemento en el inventario. Esto es, hubo un periodo de tiempo donde no había disponibilidad de este elemento para el activo productivo donde fuera requerido. En este caso, se hubiera producido afectación por ausencia de este elemento crítico. Además, desde el mes de febrero de 2021, no se presentan consumos de este elemento a causa de renovación tecnológica en la línea de producción dando como resultado un espacio y cantidad de inventario que no está siendo usado. A la fecha, el inventario de este elemento tiene 2 meses sin demanda.

Figura 2 Evolución de Stock del repuesto Cuchilla Cort 1/8*1*9” 042591 Everwear PM SAP

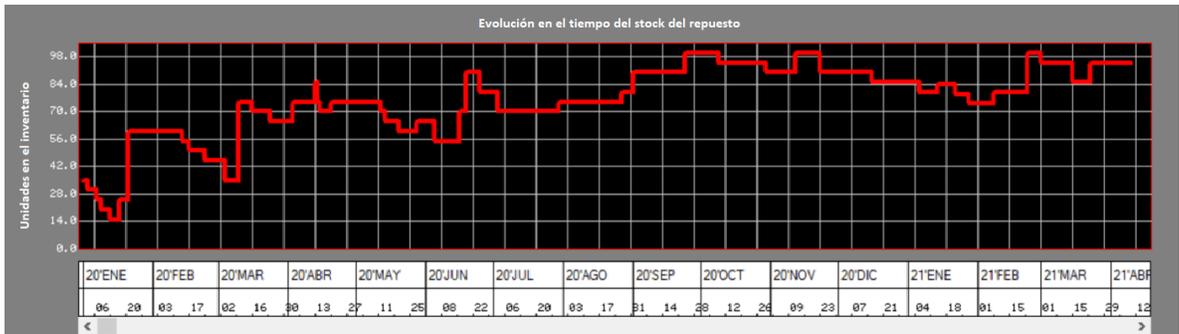


- **Caso II: Cuchilla Corte - 123"X1,"X5,5"**

Para el caso de este elemento, la demanda durante de los últimos 16 meses ha sido más baja que el aprovisionamiento, por lo tanto, hay una cantidad innecesaria de unidades almacenadas, consecuencia de una política de inventario no ajustada a la demanda. Es así como la cantidad de órdenes generadas al año y la cantidad de elementos para emitir una orden no es lo requerido. Al comparar con el caso I, la cantidad de unidades solicitadas por orden de aprovisionamiento es baja (10 por orden). Sin embargo, esto genera que el número de órdenes aumente y en

consecuencia los gastos de importación. A la fecha de análisis se tenía en el inventario alrededor de 95 unidades con un costo total del 3000 USD.

Figura 3 Evolución de stock repuesto Cuchilla, 123"X1,"X5,5" PM SAP



- **Caso III: Cuchilla de Corte 1/8" * 1 * 5"**

En la figura 4 se encuentra el comportamiento del repuesto durante los últimos 16 meses. El comportamiento en el inventario de este elemento es diferente. Al igual que en el caso II, se evidencia un número elevado de ordenes durante el periodo de tiempo de análisis (27 en total), lo que concluye que la cantidad de elementos solicitados por orden de reaprovisionamiento no está ajustada a la necesidad demandada y no existe un punto de reorden fijo (r_i). El sistema tiene definido 10 unidades como cantidad de pedido por orden de aprovisionamiento, sin embargo, se evidencia un ajuste donde se aumenta este valor de forma manual. Por ejemplo, en el mes de abril de 2021, se recibió una orden de 40 unidades. Con lo anterior se puede concluir que no hay una política definida para este elemento que tenga en cuenta diversos criterios para seleccionar el momento de realizar las órdenes de aprovisionamiento y cuantos elementos se deben solicitar en cada una de ellas.

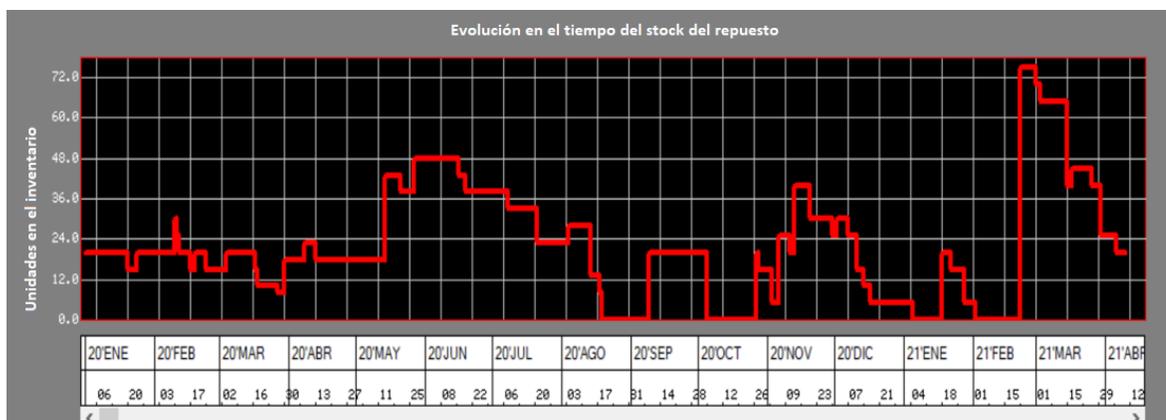
Figura 4 Evolución de stock repuesto CUCHILLA CORTE 1/8" * 1* 5" PM SAP



- **Caso IV: Cuchilla Corte C153-M-124748-B-01**

Durante los últimos 16 meses se puede evidenciar que en cuatro ocasiones, la planta de producción no ha tenido este repuesto disponible para sus activos produciendo perdidas de eficiencia y productividad debido a esta condición. Esto ha sido confirmado por el personal técnico de la compañía quien reporta pérdidas de hasta 4 horas mientras se adapta otro elemento de forma provisional. Evidentemente, la política de inventario para este elemento no es efectiva para la continuidad de la operación de los activos y además muestra una gestión el elemento deficiente. Es así, como para este intervalo de análisis, se realizaron 24 órdenes de aprovisionamiento de este repuesto sin alcanzar a cubrir la demanda. Esto se debe a que la cantidad de pedido por orden de aprovisionamiento (Q_i) no está definida adecuadamente.

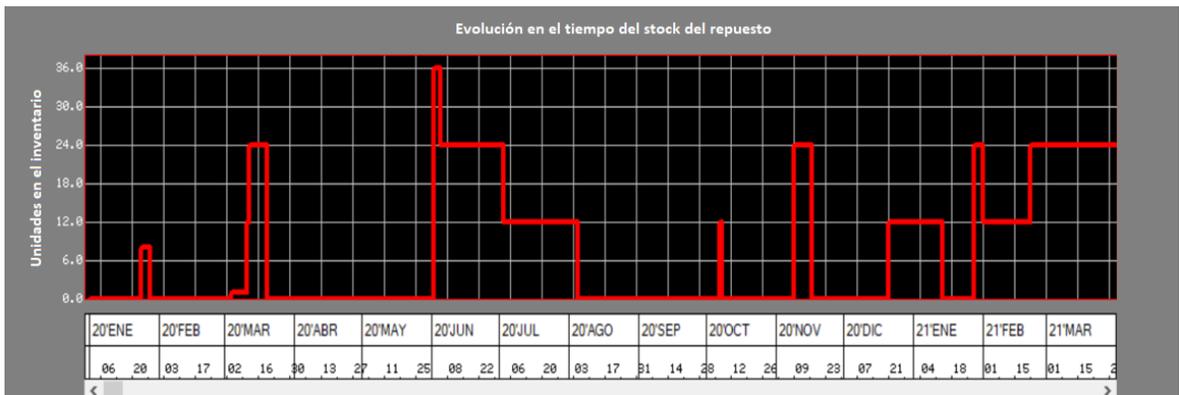
Figura 5 Evolución de stock repuesto Cuchilla Corte 1545519 Everwear PM SAP



- **Caso V: Cuchilla Corte 1545519 Everwear**

Considerando este elemento como crítico para los activos productivos de la compañía, se presentan intervalos de tiempo hasta de 2.5 meses donde el repuesto no se encuentra disponible para ser usado en los activos productivos. Es evidente la falta de una política de inventario lo que genera una acumulación de piezas en sitios que no están bajo el control del almacén de inventarios.

Figura 6 Evolución de stock repuesto HOJA CUCHILLO, 1545519, EVERWEAR INC PM SAP



En los casos de estudio analizados, se encuentran comportamientos variables en la evolución del stock de cada repuesto para repuestos de la misma familia. En algunos se puede evidenciar que la demanda se ha reducido en el tiempo, sin embargo, se continúan generando pedidos para reponer el stock de seguridad. También, se encuentran comportamientos donde la demanda, causa ausencia del repuesto en intervalos de tiempo largos. Esto genera impactos en la productividad de la organización como consecuencia de la indisponibilidad de las líneas de producción

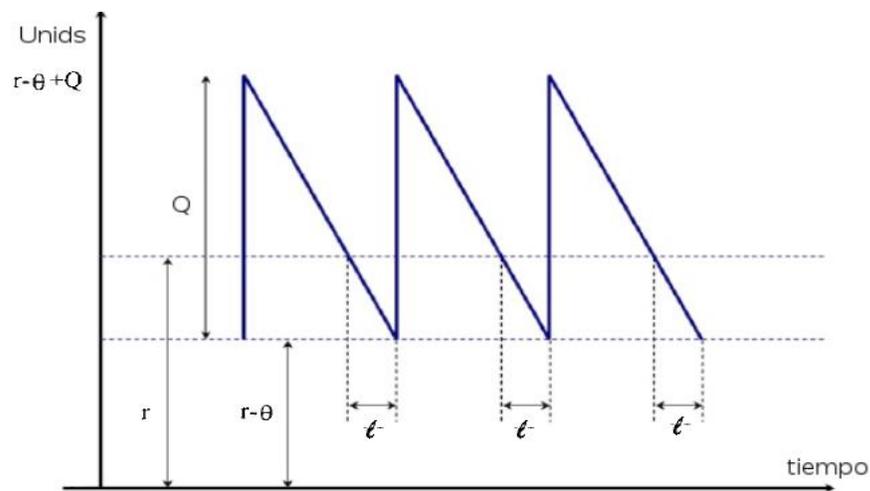
3. DETERMINACIÓN DE LOS PARAMETROS DEL MODELO DE INVENTARIO.

3.1 Descripción del Modelo

De acuerdo con la necesidad de la organización, es necesario un modelo y/o herramienta que permita determinar si los niveles de inventario satisfacen la demanda de mantenimiento de los equipos (nivel de servicio) y son eficientes desde el punto de vista del costo de inventario. Bajo esta premisa, es necesario considerar la demanda histórica de los repuestos críticos y evaluar la cantidad de pedido actual.

El modelo matemático de Hopp *et al.* (1997), en la figura 7, representa un proceso de inventario ideal para un conjunto de repuestos, cuya implementación puede ser integrada rápidamente al modelo de gestión de mantenimiento, evaluando ciertos criterios cuantitativos con información que se tiene disponible en la organización. Como novedad de la metodología, esta será aplicada a tres tipos de repuestos críticos evaluados según la tabla 3.

Figura 7. Proceso de Inventario Ideal Modelo Heurístico. (Hopp et al.1997).



Donde;

Q_i : La cantidad de unidades mínimas del elemento i , que se solicita en cada orden de aprovisionamiento del inventario.

r_i : La cantidad de unidades en el inventario en la cual se solicita una orden de aprovisionamiento del inventario.

t : Tiempo de retardo entre la generación de la orden de aprovisionamiento y el momento en que el repuesto está disponible para ser usado en el activo (Lead Time).

θ : La cantidad de unidades en el inventario que son consumidas durante el Lead Time

$r - \theta$: la cantidad de elementos que permanecen en el inventario, cubriendo una condición de contingencia. Se denomina el stock de seguridad. Para calcular la cantidad de elementos por cada orden a aprovisionamiento (Q_i) se tiene la ecuación (1).

$$Q_i = \sqrt{\frac{2\nu\lambda C}{cN}}$$

Ecuación 1 – Cantidad de Unidades por Orden de Aprovisionamiento (Hopp et al.1997).

Donde;

λ = Demanda del elemento i en un tiempo (t)

C = Costo Total de los elementos analizados

c = Costo del material i

γ = Constante de ajuste

N = Número de elementos del análisis.

El cálculo del número de unidades de cada elemento tiene una restricción en la cantidad de órdenes de compra. El objetivo es seleccionado según la política de inventario de cada compañía. La ecuación (2) representa la restricción.

$$\frac{\lambda}{Q} \leq F,$$

Ecuación 2 – Restricción para la cantidad de Ordenes de Aprovisionamiento (Hopp et al.1997).

Donde;

F = Frecuencia de Pedidos (Numero de Ordenes de aprovisionamiento).

Q = Cantidad de elementos solicitados por orden de aprovisionamiento.

λ = Demanda del elemento i en un tiempo (t)

Para el cálculo del punto de aprovisionamiento (r_i), se usa la ecuación (3).

$$r_i = \theta_i + \sqrt{-2\theta_i \ln\left(\sqrt{2\pi\theta_i} \frac{c_i}{\lambda_i} \frac{\Lambda}{\mu C}\right)}, \text{ if } \sqrt{2\pi\theta_i} \frac{c_i}{\lambda_i} \frac{\Lambda}{\mu C} \leq 1$$

Ecuación 3 – Punto de Reorden de Aprovisionamiento de inventario (Hopp et al.1997).

Donde;

Θ = Demanda del elemento durante el “lead time”

λ = Demanda del elemento i en un tiempo (t)

C = Costo Total de los elementos analizados

c = Costo del material i

μ = Constante de ajuste

Λ = sumatoria de la demanda de cada uno de los materiales de análisis.

El cálculo del punto de reorden de cada elemento tendrá una restricción en el nivel de servicio. Esto se define como la probabilidad de que el material no se encuentre en inventario cuando es requerido. Un nivel de servicio del 95%, implicará que de cada 100 veces que el material se solicite en el inventario, 95 veces será encontrado. La restricción viene dada por la ecuación 4

$$\sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i}{\Lambda} G_i(r_i) \geq S$$

Ecuación 4 – Restricción de nivel de servicio para punto de reorden [Hopp1997].

Donde;

$G(r_i)$ = la probabilidad que con ese punto de reorden se presenten faltantes en el inventario.

S = Nivel de servicio definido por el usuario.

Λ = sumatoria de la demanda de cada uno de los materiales de análisis.

λ = Demanda del elemento i en un tiempo (t)

La probabilidad de elementos faltantes en el inventario se calcula mediante una distribución normal, donde la media se considera como el promedio de elementos consumidos durante el lead time para las órdenes de aprovisionamiento durante el tiempo de análisis.

$$G(r_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{r_i - \mu}{\sigma}\right)^2}$$

Ecuación 5 – Calculo de la probabilidad de faltantes en el inventario (Hopp et al.1997).

Donde:

μ = Promedio de la demanda del elemento durante el “lead time” para varias órdenes.

σ = Desviación estándar de la demanda del elemento durante el “lead time” para varias órdenes.

3.2 Determinación de parámetros de inventario – Repuestos críticos de alta rotación.

De acuerdo a la criticidad de los repuestos definida en la tabla 3, usando la combinación de 3 métodos cuantitativos y cualitativos para este propósito, se analizarán los siguientes repuestos dentro del modelo heurístico I (Hopp et al. 1997). Se desarrolla una herramienta en Excel donde se realizan los cálculos relacionados al modelo y permita a la compañía tomar decisiones respecto a las políticas de inventario de repuestos de la organización. El primer grupo de repuestos a analizar se consideran repuestos vitales para la organización, de alta rotación en el inventario y con un costo representativo (A y B), según la clasificación.

Repuesto	Cantidad	Costo	Tipo	VED (Impacto en Producción)	FSN (Rotación)	ABC (Costo)
CUCHILLA CORTE 1/8" * 1* 5"	95	\$ 5,797,850	Cuchillas	Vital	Alta Rotación	B
CUCHILLA ,123"X1,"X5,5"	100	\$ 10,679,400	Cuchillas	Vital	Alta Rotación	A
HOJA CUCHILLO,1545519,EVERWEAR INC	60	\$ 25,630,560	Cuchillas	Vital	Alta Rotación	A
CUCHILLA CORTE C153-M-124748-B-01	60	\$ 6,403,560	Cuchillas	Vital	Alta Rotación	B
CUCHILLA CORT 1/8*1*9" 042591 EVERWEAR	50	\$ 6,994,286	Cuchillas	Vital	Alta Rotación	B

Tabla 4 Repuestos Tipo Cuchilla para definición de Stock.

El modelo contempla dos restricciones en cuanto a nivel de servicio y límite de órdenes de aprovisionamiento, la cuales fueron definidas en conjunto con el personal de gestión de inventarios y mantenimiento de Kimberly Clark. Esto con el fin de aproximar el modelo a la realidad el modelo.

Maximo de Ordenes Objetivo	Nivel de Servicio Objetivo
15	93%

Tabla 5 Restricciones para el modelo

En la Tabla 6 se muestran los resultados de resolver las ecuaciones 1 y 3 para encontrar los valores de Q_i y r_i respectivamente, teniendo en cuenta las restricciones en las ecuaciones 2 y 4. Además se hace una comparación respecto al punto de aprovisionamiento y Cantidad de elementos por pedido actuales para cada repuesto.

Repuesto	r_i (Actual)	r_i (Calculado)	Q_i (Actual)	Q_i (Calculado)
CUCHILLA CORT 1/8*1*9" 042591 EVERWEAR	50	74	120	95
CUCHILLA ,123"X1,"X5,5"	100	28	10	65
CUCHILLA CORTE 1/8" * 1* 5"	95	56	10	128
CUCHILLA CORTE C153M 1/8" * 1* 5"	60	40	5	83
HOJA CUCHILLO,1545519,EVERWEAR INC	24	41	24	31

Tabla 6 Calculo de r_i y Q_i mediante modelo heurístico I (Hopp et al. 1997)

Al analizar los puntos de aprovisionamiento para los elementos de la muestra, se puede ver que en el repuesto 2 de la tabla 4, hay una diferencia de 70 unidades

entre el punto de reorden actual y el calculado. Esto debido a que el modelo incluye la demanda, que se encarga de ajustar este valor. Una situación similar se encuentra en el repuesto 3 donde la diferencia es de 40 unidades.

Teniendo en cuenta la alta criticidad de estos elementos dentro de los activos productivos, la probabilidad de desabastecimiento debe ser muy baja ya que un faltante influye directamente en la disponibilidad de las líneas de producción. Por esta razón se exige un nivel de servicio que pueda garantizar la existencia de estos repuestos en el inventario. En la tabla 5 se evidencia que el nivel de servicio actual de la muestra se encuentra por debajo del objetivo mínimo definido por el equipo de mantenimiento Kimberly Clark Colpapel, 86% Vs 93%. Por lo tanto, se calculó el valor de μ mediante la herramienta “solver” de Excel teniendo como objetivo el nivel de servicio definido y ajustando el valor de μ que satisface la restricción, En la tabla 7 se muestra el cálculo de que μ satisface el nivel de servicio objetivo y con el cual se calculan los puntos reaprovisionamiento r_i

Restriccion de Nivel de Servicio	
μ	1884,056543
Nivel de Servicio Actual	86%
Nivel de Servicio Objetivo (S)	93%
Nivel de Servicio Calculado (S)	93%

Tabla 7 Restricción de Nivel de Servicio aplicada al modelo heurístico I (Hopp et al. 1997)

La relación de la variable de ajuste μ es directamente proporcional al nivel de servicio calculado. Esto es, si esta variable crece el nivel de servicio se incrementa. Sin embargo, para cambiar el nivel de servicio en 2% es necesario duplicar el valor de la variable de ajuste, debido a que esta interviene directamente en el conjunto de elementos analizados. De forma ideal se quisiera un nivel de servicio igual a 100%, sin embargo en términos prácticos, en este tipo de industria esto exigiría mantener un nivel de inventario mayor incurriendo en costos innecesarios para las compañías.

Para la cantidad mínima de elementos por orden de aprovisionamiento Q_i , se evidencia una gran diferencia respecto a los valores actuales. Esto se debe principalmente a la restricción impuesta en el modelo donde la cantidad de órdenes se limita a 15 en el grupo de 5 elementos. Como se evidencio en el diagnóstico, se realizan en promedio 2 órdenes de aprovisionamiento mensuales para los casos 3 y 4 lo que implica dificultades en el control de inventario de elementos de la misma familia por no tener una política estándar que facilite su control. En la tabla 6 se muestra la restricción de órdenes de aprovisionamiento aplicada al modelo y la cual fue calculada usando la ecuación 2.

Restriccion de Ordenes de aprovisionamiento	
v	3646,222086
Ordenes de Aprovisionamiento por año actual	75
Ordenes de Aprovisionamiento por año Objetivo	15
Ordenes de Aprovisionamiento por año Calculadas	14,97

Tabla 8 Restricción de órdenes de aprovisionamiento aplicada al modelo heurístico I (Hopp et al. 1997)

La variable de ajuste v tiene relación directa con la cantidad de elementos por orden a solicitar. Al contrario de la variable μ , esta tiene una sensibilidad mucho mayor. Para efectos prácticos el solicitar una excesiva cantidad de elementos afectara los costos operacionales de la empresa al hacer inversiones en repuestos que no se gastaran al ritmo esperado. En este caso se limitan la cantidad de órdenes a 15 de un total de 75. Esto implica un crecimiento en la cantidad de elementos que se piden por orden de aprovisionamiento respecto a los valores actuales. En la Tabla 9 se puede ver la distribución de las órdenes de aprovisionamiento para cada repuesto en comparación con las órdenes que se hicieron durante el último año.

Repuesto	Número de órdenes por año Actual	Número de órdenes por año Calculadas
CUCHILLA CORT 1/8*1*9" 042591 EVERWEAR	3	3
CUCHILLA ,123"X1,"X5,5"	14	2
CUCHILLA CORTE 1/8" * 1* 5"	27	3
CUCHILLA CORTE C153M 1/8" * 1* 5"	24	3
HOJA CUCHILLO,1545519,EVERWEAR INC	8	4

Tabla 9 Órdenes de aprovisionamiento calculadas por material según modelo heurístico I (Hopp et al. 1997)

Al ser elementos importados, una reducción del número de órdenes de aprovisionamiento tendrá efectos positivos sobre el control del inventario por parte del equipo de mantenimiento, reduciendo la probabilidad de faltante de repuestos críticos en los activos productivos. Además, se reducirá el costo transaccional al realizar menos importaciones de este grupo de elementos dado que se pueden agrupar al tener una distribución de órdenes similar. En la tabla 10 se puede evidenciar el ahorro para la compañía en realizar menor cantidad de importaciones. Se toma como base de cálculo el promedio de costo transaccional para cada elemento durante los últimos 16 meses suministrada por Kimberly Clark Colpapel.

Repuesto	Número de órdenes por año Actual	Costo Transaccional Por Orden	Número de órdenes por año	Costo Transaccional por orden Calculado
CUCHILLA CORT 1/8*1*9" 042591 EVERWEAR	3	300	3	300
CUCHILLA ,123"X1,"X5,5"	14	1400	2	200
CUCHILLA CORTE 1/8" * 1* 5"	27	2970	3	330
CUCHILLA CORTE C153M 1/8" * 1* 5"	24	2400	3	300
HOJA CUCHILLO,1545519,EVERWEAR INC	8	880	4	440

Tabla 10 Costos de importación estimados de acuerdo a la nueva política de inventario

El ajuste en la política de inventario representa en estos elementos un ahorro del 80% en costos transaccionales de importación en los repuestos analizados, Esto debido a la cantidad de órdenes que se reducen. En la tabla 11 se muestra la distribución de costos unitarios para cada elemento.

Repuesto	Costo Proyectado (USD/un)	Qi (Calculado)	Número de órdenes por año Calculadas	Costo Total Proyectado (USD)	Costo Actual (USD)
CUCHILLA CORT 1/8*1*9" 042591 EVERWEAR	\$ 37,05	95	3	\$ 10.568,14	\$ 14.040,00
CUCHILLA ,123*X1,"X5,5"	\$ 31,35	65	2	\$ 4.075,50	\$ 4.620,00
CUCHILLA CORTE 1/8" * 1 * 5"	\$ 18,05	128	3	\$ 6.931,20	\$ 5.130,00
CUCHILLA CORTE C153M 1/8" * 1 * 5"	\$ 30,91	83	3	\$ 7.697,34	\$ 3.904,00
HOJA CUCHILLO,1545519,EVERWEAR INC	\$ 118,75	31	4	\$ 14.725,00	\$ 24.000,00

Tabla 11 Costos de repuestos estimados de acuerdo a la nueva política de inventario – Ahorro 2%.

Es de anotar que el modelo está diseñado para definir la mejor combinación entre garantizar el inventario adecuado y una cantidad de órdenes de aprovisionamiento adecuada en función de la demanda del repuesto. Por esta razón hay elementos en los cuales se aumenta el costo debido al ajuste del nivel de inventario para evitar faltantes cuando sea requerido. Es el caso de los elementos 2,3 y 4 de la tabla 11, donde en el diagnóstico, presentaban desabastecimiento. Sin embargo, los elementos 1 y 5 presentan un ahorro en costos. Se muestra que con este modelo de inventario la compañía puede percibir beneficios económicos, 20% de ahorro en el costo unitario de los repuestos más 80% en los costos de importación para este caso.

3.3 Determinación de parámetros de inventario – Repuestos críticos de media rotación.

Después de realizar el análisis aplicando el modelo a repuestos críticos de alta rotación, estimando la cantidad necesaria en stock con un nivel de servicio del 83% y un máximo de 15 órdenes de aprovisionamiento. Se realiza el cálculo del nivel de stock para los siguientes repuestos de media rotación usando las variables $\nu = 3646$ y $\mu = 1884$, calculadas con las condiciones de los repuestos de alta rotación. Con esto, se quiere verificar que las constantes obtenidas para un tipo de repuestos (alta rotación) pueden ser aplicadas a otra categoría de repuestos críticos

(media rotación). Los repuestos a analizar corresponden a rodamientos críticos de los motores principales de la planta de producción.

Repuesto	Cantidad	Costo	Tipo	VED (Impacto en Producción)	FSN (Rotación)	ABC (Costo)
ROL DE BOLAS 6005-2RS	20	\$ 322,514	Rodamientos	Vital	Media Rotación	C
ROL BOLA 608 2RS SKF	10	\$ 110,743	Rodamientos	Vital	Media Rotación	C
ROL DE BOLAS 6001-2RS	5	\$ 56,343	Rodamientos	Vital	Media Rotación	C
ROL RIG ESF 20X42X12MM 6004 2RS1	14	\$ 202,640	Rodamientos	Vital	Media Rotación	C
ROL DE BOLAS 6205-2RS	12	\$ 212,160	Rodamientos	Vital	Media Rotación	C
ROL DE BOLAS 6003-2RS	14	\$ 168,640	Rodamientos	Vital	Media Rotación	C
ROL 30X55X13MM 6006 2RS1	8	\$ 169,417	Rodamientos	Vital	Media Rotación	C
ROL DE BOLAS NICE 1616-DC	12	\$ 694,766	Rodamientos	Vital	Media Rotación	C

Tabla 12 Repuestos de Media Rotación - Rodamientos.

De acuerdo con las ecuaciones 1 y 3 se realizan los cálculos para la cantidad de lote mínimo y el punto de reorden respectivamente. Los resultados son mostrados en la tabla 13.

Repuesto	ri (actual)	ri (Calculado)	Qi (actual)	Qi (Calculado)
ROL DE BOLAS 6005-2RS	20	28	1	70
ROL BOLA 608 2RS SKF	10	15	1	54
ROL DE BOLAS 6001-2RS	5	15	1	53
ROL RIG ESF 20X42X12MM 6004 2RS1	14	32	2	72
ROL DE BOLAS 6205-2RS	12	16	1	49
ROL DE BOLAS 6003-2RS	14	5	1	28
ROL 30X55X13MM 6006 2RS1	8	10	1	33
ROL DE BOLAS NICE 1616-DC	12	6	4	11

Tabla 13 Calculo de ri y Qi mediante modelo heurístico I (Hopp et al. 1997)

Como en el caso de los repuestos de alta rotación (cuchillas), se evidencia diferencias en los puntos de reorden y cantidad de elementos mínimos a solicitar en el inventario actual respecto a los calculados. Sin embargo, para los rodamientos se identifican puntos de reorden más ajustados a la realidad. Además, se encuentra que hay un excesivo número de pedidos lo que produce un control deficiente del inventario y evidencia dificultades en la política de administración de este tipo de repuestos.

Repuesto	Numero de Ordenes por año actual	Numero de Ordenes por año Calculada
ROL DE BOLAS 6005-2RS	12	2
ROL BOLA 608 2RS SKF	4	1
ROL DE BOLAS 6001-2RS	7	1
ROL RIG ESF 20X42X12MM 6004 2RS1	10	2
ROL DE BOLAS 6205-2RS	8	2
ROL DE BOLAS 6003-2RS	5	1
ROL 30X55X13MM 6006 2RS1	5	1
ROL DE BOLAS NICE 1616-DC	5	1

Tabla 14 Órdenes de Aprovisionamiento para rodamientos

Al evaluar las restricciones del modelo, encontramos que el nivel de servicio calculado para estos repuestos es del 91%, sobre el 93 % objetivo usando la constante $\mu = 1884$ resultado del cálculo con los repuestos de alta rotación. Por otro lado, el número de órdenes se limitó máximo a 3 por cada repuesto. En este caso con la constante $\nu = 3646$ satisface la restricción para los repuestos de media rotación.

En este caso sería posible un valor inferior para reducir la cantidad de elementos por año. En la tabla 15 se muestra la cantidad de elementos por orden de pedido para los rodamientos cuando el valor de $\nu = 1846$. Este análisis permite conocer cómo es el comportamiento de las variables de ajuste en función de la naturaleza del elemento y su demanda. Reducir la variable de ajuste implica que con la misma cantidad de órdenes se pida menor cantidad de elementos cumpliendo con las restricciones.

Repuesto	ri (actual)	ri (Calculado)	Qi (actual)	Qi (Calculado)
ROL DE BOLAS 6005-2RS	20	28	1	43
ROL BOLA 608 2RS SKF	10	15	1	33
ROL DE BOLAS 6001-2RS	5	15	1	32
ROL RIG ESF 20X42X12MM 6004 2RS1	14	32	2	44
ROL DE BOLAS 6205-2RS	12	16	1	30
ROL DE BOLAS 6003-2RS	14	5	1	17
ROL 30X55X13MM 6006 2RS1	8	10	1	20
ROL DE BOLAS NICE 1616-DC	12	6	4	7

Tabla 15 Calculo de ri y Qi variando ajuste $\nu = 1846$

3.4 Determinación de parámetros de inventario – Repuestos críticos de baja rotación.

De acuerdo a los resultados obtenidos para repuestos críticos de alta y media rotación, se evalúa el modelo de Hopp et al, (1997) para los repuestos de baja rotación y en consecuencia de baja demanda. Para este caso en particular, estos repuestos corresponden a componentes electrónicos que la organización, en su política de inventario, prefiere mantener y cambiar cuando estos fallen.

Repuesto	Cantidad	Costo	Tipo	VED (Impacto en Producción)	FSN (Rotación)	ABC (Costo)
PROCESADOR DE CONTROL,V7768-33000	1	\$ 11,609,344	Controladores Electronicos	Vital	Baja Rotación	A
IHM PRINCIPAL DE CONTROLE D-MAX FIFE	1	\$ 5,957,518	Controladores Electronicos	Vital	Baja Rotación	B
GUIA FIFE POLARIS DP-20 PANEL CONTROL	1	\$ 9,638,585	Controladores Electronicos	Vital	Baja Rotación	A
CONTROL K-TRON KCM LED CPU 4042	1	\$ 4,364,688	Controladores Electronicos	Vital	Baja Rotación	B

Tabla 16 Repuestos de Baja Rotación- Componentes Electrónicos

Siguiendo la metodología para los repuestos de alta y media rotación, Aplicando las ecuaciones 1 y 3, al tener una demanda 0 en los últimos tres años. La cantidad de órdenes de aprovisionamiento tiende a 0, lo cual es lógico, ya que el repuesto no ha sido consumido. Por otra parte, el punto de reorden tiende a infinito, lo cual no se ajusta a la realidad. Por lo tanto se puede afirmar que los repuestos de baja rotación necesitan otro tratamiento y un modelamiento diferente para determinar si deben permanecer o no en el inventario. Como característica adicional, los repuestos de este tipo se almacenan por unidad en el inventario, siendo esta una política definida por la organización.

3.5 Determinación de los parámetros de inventario – Muestra de repuestos aleatoria de alta y media rotación.

Entendiendo que el modelo puede definir el stock necesario para los repuestos de alta y media rotación cuyo consumo es superior a 1, se eligieron 40 repuestos al azar del inventario de Kimberly Clark Colpapel como aplicación masiva del modelo y la herramienta desarrollada. En anexo 1 contiene los cálculos finales para estos elementos. Es importante anotar que la herramienta busca el mejor punto de reorden y la cantidad justa bajo una política definida por la compañía donde el nivel

de servicio y la cantidad de órdenes de aprovisionamiento impactan el inventario. Después de la prueba de 40 elementos se percibe un ahorro en costo de 6000 USD. Este ahorro fue calculado basado en el número de elementos almacenados antes de generar una solicitud de pedido actual y el calculado por el modelo. Es de resaltar que el objetivo principal del estudio es proponer una metodología que defina la criticidad de los repuestos a partir de varios criterios y calcular la cantidad de stock precisa en el inventario a un costo óptimo sin comprometer la disponibilidad de las líneas de producción.

APRENDIZAJES

- La combinación de varias metodologías mono criterio para definir la criticidad desde diferentes perspectivas, resulta útil cuando no hay una clasificación previa del inventario. Al no ser análisis de alta complejidad matemática, se pueden realizar de forma rápida y práctica en un equipo de gestión de mantenimiento para enfocar la determinación del stock en los repuestos críticos de las líneas de producción.
- El modelo heurístico I desarrollado por Hopp *et al.* (1997), permite establecer nuevas políticas de inventario para repuestos críticos de alta y media rotación en Kimberly Clark Colpapel. Este modelo puede ser aplicado a múltiples industrias donde se pueda obtener información histórica de variable como demanda, lead time, punto de reorden y número de órdenes de aprovisionamiento para los repuestos.
- El modelo contempla restricciones para repuestos críticos de baja rotación con un stock de 1 unidad. Al no presentar demanda registrada en el periodo de análisis no es posible definir si este repuesto debe o no permanecer en el inventario, lo que significa un problema para las organizaciones ya que los repuestos electrónicos tienen esta particularidad.

GESTION DEL CAMBIO E INTEGRACION DE LA HERRAMIENTA.

El desarrollar una herramienta alternativa que permita controlar los niveles de inventario implica un proceso de adopción y cambio respecto a la forma de gestionar los repuestos en la actualidad. Es por eso que se propuso un proyecto paralelo de gestión de cambio que apoye la adopción y uso de la nueva herramienta que permitirá mejorar los indicadores financieros y de disponibilidad del área de mantenimiento en Kimberly Clark Colpapel.

Figura 8 Framework estratégico de gestión del cambio



Se propuso entonces un plan de comunicación, liderazgo y capacitación para soportar el uso de la nueva herramienta en el equipo de mantenimiento con los siguientes objetivos.

Nombre Proyecto Gestión Cambio: Transición del modelo de gestión de inventarios.

Objetivo Principal: Apropiar y usar el nuevo modelo de gestión de inventario por parte del equipo de ingeniería e inventarios de planta en un periodo de 6 meses dejando atrás el modelo antiguo.

Objetivos Específicos:

- Realizar una campaña de expectativas con el equipo de ingeniería mediante publicidad dirigida (reuniones de equipo, reuniones de líderes) donde se publiquen semanalmente los avances en el entrenamiento y los beneficios del uso de la nueva herramienta durante los
- Identificar 3 agentes movilizadores en el grupo de ingenieros y con ellos desplegar los planes de comunicación hacia el resto del grupo en un periodo de un mes
- Realizar 1 entrenamiento cada trimestre, Tipo workshop de la herramienta aplicado a 10 ingenieros donde se muestre el funcionamiento de la herramienta.

De acuerdo a los análisis realizados, se evidenció una oportunidad en el costo de capital de los repuestos de mantenimiento lo cual permite que la viabilidad del proyecto se encuentre dentro de las prioridades de la dirección. Dentro de la compañía, el rol de analista de inventarios será el encargado de la actualización periódica de los datos de inventario, sostenimiento, y evolución de la herramienta en conjunto con los ingenieros de mantenimiento. Finalmente se busca proponer políticas de inventario estándar en función de los análisis resultantes para grupos de repuestos según la propuesta desarrollada.

CONCLUSIONES

- De acuerdo con el equipo de mantenimiento de Kimberly Clark Colpapel, el punto de reorden y cantidad de lote mínimo se ajusta según el criterio del ingeniero que consume el repuesto, no hay una política de inventario clara para este tipo de elementos.
- El modelo de inventario propuesto es más preciso cuando se evalúan repuestos la misma familia (cuchillas, rodamientos) ya que permite agrupar elementos que tienen características similares dentro de los activos productivos.
- Las políticas de inventario de repuestos en Kimberly Clark Colpapel no son estándar para elementos de la misma familia. Esto implica niveles de inventario para algunos elementos y faltantes para otros que son críticos. Mediante el modelo se puede realizar un estándar que permita ahorrar costos en inventario y tener un mejor control de los repuestos.
- Dentro de la compañía se utiliza el sistema SAP para la gestión de inventarios de repuestos de los activos de producción. También, existe un analista de inventarios cuya función es analizar cambios de comportamiento en el inventario y hacer los ajustes en el sistema. Sin embargo, se evidencia que los parámetros de punto de reaprovisionamiento (r_i) y cantidad de elementos solicitados por orden (Q_i) no se encuentran correctamente configurados y sus ajustes se hacen de forma subjetiva basados en la urgencia de reponer inventarios faltantes.

Anexo 1 - Tabla de Cálculos para muestra de 40 repuestos

Repuesto	ri (actual)	ri (Calculado)	Unidad Medida	Qi Actual	Qi Calculado	Costo Unitario (USD)	Costo ri Actual (USD)	Costo ri Calculado (USD)
SOLVENTE ETHANOL AL 96 %	600	241	KG	600	1.544	0,9	514,3	206,2
MANGUERA VACIO 1-1/2"	35	8	UN	1	65	6,6	230,0	55,2
TAPON AUDITIVA DESECHABLE 1100 3M	3.200	828	UN	200	11.830	0,1	291,7	75,4
ACEITE ULTRA COOLANT INGERSOLL RAND	15	12	GLL	5	47	16,5	247,2	195,6
CUCHILLA CORTE 1/8" * 1* 5"	95	74	UN	10	111	18,0	1.705,3	1.321,0
CUCHILLA ,123"X1,"X5,5"	100	64	UN	10	74	31,4	3.141,0	1.996,2
MANGUERA AIRE 150 100D 1.5M FESTO	0	14	M	5	205	3,1	0,0	43,9
CUCHILLA CORTE C153-M-133114-B-01	15	16	UN	6	13	138,5	2.077,8	2.167,7
CUCHILLA CORTE C153-M-124748-B-01	60	48	UN	5	66	31,4	1.883,4	1.504,8
GORRO PLEGADO ZUBIOLA BLANCO CJ X 1.000	20	18	PAK	6	41	37,1	742,9	655,2
SOLVENTE MPT 2630 EMUL.LIMPIEZA ADHESIVO	40	26	UN	20	124	13,1	525,7	345,8
ACEITE MOBIL SHC CIBUS 460	40	17	L	20	21	324,3	12.971,4	5.366,0
CERAMICA AISLANTE SELLADO FOCKE 14983613	10	8	UN	0	19	34,8	348,2	268,8
LAMINA ADHESIVA FIB VIDRIO 0.005"	20	12	M2	4	67	22,9	457,1	281,4
ACEITE LUBRICANTE OPTIUM CRI (USP) BYCSA	110	93	GLL	5	41	290,4	31.944,0	27.144,4
TUBO OPTIMA 10222879 CFRP CARBON	4.800	2.891	MM	0	6.986	0,3	1.200,0	722,6
LUBRIC PENETRANTE ALIMEN CRC 10228471	25	13	UN	1	84	6,5	163,5	87,3
SILICONA GRANEL ALIMEN CRC 03041	19	23	L	19	18	260,1	4.941,1	6.004,3
DEDO FOCKE 14624456-Z842F0010 APILADOR	20	39	UN	1	65	21,1	422,4	818,4
RESO FOCKE 19338938 PRESION	20	10	UN	1	47	5,5	110,2	54,6
GAS PROPANO BUTANO CILINDRO 18KG	63	43	UN	196	392	8,4	531,4	365,7
GUANTE M NITRIL G10 CJ X 100	10	17	CS	1	107	9,8	97,8	164,5
TAPAOIDOS COPA THUNDER T1 HOWARD LEIGHT	20	11	UN	0	58	11,4	228,6	127,3
SELLOS,SK@SEGURIDAD-363IN,GENERIC KIT	150	136	UN	1	543	3,8	574,3	520,4
CUCHI RECTA EBII1017 CELLULOSE	12	9	UN	1	6	226,0	2.712,0	1.937,5
RESISTENCIA SELLADO 752873	10	19	UN	5	38	27,6	276,0	514,1
CUCHILLA CORT 1/8*1*9" 042591 EVERWEAR	50	103	UN	120	75	41,1	2.057,1	4.238,3
CINTA ADH FIBRA VIDRIO OPTIMA T900982	11	9	UN	5	49	36,9	405,4	348,2
RODILLO LUBRICADOR C153-M-56693-C-04	10	13	UN	1	43	13,8	138,1	180,4
BARRA FIBRA VIDRIO OPTIMA T752840	15	24	UN	1	97	5,9	88,4	138,6
MASCARA RESPIRADOR 8210-1 3M	200	371	UN	0	800	1,1	223,1	413,7
CUCHILLA PLAN 90GR 00551FC/AFIADORA CAMP	24	37	UN	16	42	44,4	1.065,8	1.635,8
PEEK EMPUJADOR 203CB-M-00070 CB15	32	26	UN	1	111	11,4	365,7	299,8
VENTOSA REDO 0201633 PIAB	10	3	UN	0	27	15,4	153,5	49,3
RESI FOCKE 17727710 PLANA	10	15	UN	0	63	7,8	78,3	119,0
CUCHILLA C153M118241 ACERO	16	16	UN	16	14	121,6	1.946,1	1.991,7
TIRA DESGASTE,SPRING,4003101251,CPS COMP	10	6	UN	1	14	21,0	210,0	133,6
EXTREMO DEL VASTAGO,BRTM12.00.502,DURBAL	10	3	UN	1	7	94,1	941,4	326,1
EXTREMO DEL VASTAGO,BRTM12.00.501,DURBAL	10	3	UN	0	7	94,1	941,4	326,1
HOJA CUCHILLO,1545519,EVERWEAR INC	0	60	UN	0	29	125,6	0,0	7.552,9

Tabla 17 Modelo Heurístico I (*Hopp et al. 1997*), aplicado a 40 repuestos al azar

Anexo 2 - Base de Cálculos para muestra de 5 repuestos

Material	Descripcion	Stk. seg.	Valor USD	Lote Minimo
45042180	CUCHILLA CORT 1/8*1*9" 042591 EVERWEAR	50	39,00	120
Variable	Descripcion	Units	Value	
r	Reorder Point For item (actual)	UN	50,00	
Orders	Orders per Year (Actual)	Orders	3,00	
ci	Item Cost	USD	39,00	
Co	Consumption	UN	355,00	
Days	Days	Day	365,00	
λ	Expected demand for Item per Day	UN/Day	0,97	
l	Replenishment Lead Time for Item	Day	59,83	
Q	Actual Order Quantity	UN	120,00	
θ	Expected demand for Item during lead time	UN	58,19	
Qi	Order Quantity (calculated)	UN	108,78	
Fr	Orders per day (λ/Q_i)	Orders /Day	0,01	
Fry	Orders per year(λ/Q_i)	Orders /year	3,26	
ri	Reorder Point For item (calculated)		73,43	

Tabla 18 Aplicación del modelo heurístico (Hopp et al. 1997) Cuchilla Corte 1/8*1*5"

Material	Descripcion	Stk. seg.	Valor USD	Lote Minimo
44012181	CUCHILLA , 123"X1,"X5,5"	100	33,00	10
Variable	Descripcion	Units	Value	
r	Reorder Point For item (actual)	UN	100,00	
Orders	Orders per Year (Actual)		14,00	
ci	Item Cost	USD	33,00	
Co	Consumption	UN	140,00	
Days	Days	Day	365,00	
λ	Expected demand for Item per Day	UN/Day	0,38	
l	Replenishment Lead Time for Item	Day	51,09	
Qa	Actual Order Quantity	UN	10,00	
θ	Expected demand for Item during lead time	UN	19,60	
Qi	Order Quantity (calculated)		74,26	
Fr	Orders per day (λ/Q_i)	BackOrders /Day	0,01	
Fry	Orders per year(λ/Q_i)	Orders /year	1,89	
ri	Reorder Point For item (calculated)		28,23	

Tabla 19 Aplicación del modelo heurístico (Hopp et al. 1997) Cuchilla Corte 123" *1*5.5"

Material	Descripcion	Stk. seg.	Valor USD	Lote Minimo
44012180	CUCHILLA CORTE 1/8" * 1* 5"	95	19,00	10
Variable	Descripcion	Units	Value	
r	Reorder Point For item (actual)	UN	95,00	
Orders	Orders per Year (Actual)		27,00	
ci	Item Cost	USD	19,00	
Co	Consumption	UN	315,00	
Days	Days	Day	365,00	
λ	Expected demand for Item per Day	UN/Day	0,86	
l	Replenishment Lead Time for Item	Day	48,46	
Qa	Actual Order Quantity	UN	10,00	
θ	Expected demand for Item during lead time	UN	41,83	
Qi	Order Quantity (calculated)		146,81	
Fr	Orders per day (λ/Q_i)	BackOrders /Day	0,01	
Fry	Orders per year(λ/Q_i)	Orders /year	2,15	
ri	Reorder Point For item (calculated)		55,79	

Tabla 20 Aplicación del modelo heurístico (Hopp et al. 1997) Cuchilla Corte 1/8*1*5"

Material	Descripcion	Stk. seg.	Valor USD	Lote Minimo
44024504	CUCHILLA CORTE C153M 1/8" * 1* 5"	60	32,54	5
Variable	Descripcion	Units	Value	
r	Reorder Point For item (actual)	UN	60,00	
Orders	Orders per Year (Actual)		24,00	
ci	Item Cost	USD	32,54	
Co	Consumption	UN	228,00	
Days	Days	Day	365,00	
λ	Expected demand for Item per Day	UN/Day	0,62	
l	Replenishment Lead Time for Item	Day	46,90	
Qa	Actual Order Quantity	UN	5,00	
θ	Expected demand for Item during lead time	UN	29,30	
Qi	Order Quantity (calculated)		95,44	
Fr	Orders per day (λ/Q_i)	BackOrders	0,01	
Fry	Orders per year(λ/Q_i)	Orders /year	2,39	
ri	Reorder Point For item (calculated)		40,21	

Tabla 21 Aplicación del modelo heurístico I (Hopp et al. 1997) Cuchilla Corte C153M 1/8*1*5"

Material	Descripcion	Stk. seg.	Valor USD	Lote Minimo
84190303	HOJA CUCHILLO,1545519,EVERWEAR INC	24	125,00	1
Variable	Descripcion	Units	Value	
r	Reorder Point For item (actual)	UN	24,00	
Orders	Orders per Year (Actual)		7,00	
ci	Item Cost	USD	125,00	
Co	Consumption	UN	120,00	
Days	Days	Day	365,00	
λ	Expected demand for Item per Day	UN/Day	0,33	
l	Replenishment Lead Time for Item	Day	94,50	
Qa	Actual Order Quantity	UN	1,00	
θ	Expected demand for Item during lead time	UN	31,07	
Qi	Order Quantity (calculated)		35,33	
Fr	Orders per day (λ/Q_i)	BackOrders /Day	0,01	
Fry	Orders per year(λ/Q_i)	Orders /year	3,40	
ri	Reorder Point For item (calculated)		39,55	

Tabla 22 Aplicación del modelo heurístico (Hopp et al. 1997) Cuchilla Corte 1545519 Everwear:

BIBLIOGRAFIA

- (Zhu, 2020)** Sha, Zhu., Van Jaarsveld, Willem., & Dekker, Rommert. (2020). Spare parts inventory control based on maintenance planning
- (Chen, 2019)** Chen, J., Gusikhin, O., Finkenstaedt, W., & Liu, Y.-N. (2019). Maintenance, Repair, and Operations Parts Inventory Management in the Era of Industry 4.0.
- (Miranda, 2019)** Miranda, P. A., Tapia Ubeda, F. J., Hernandez, V., Cardenas, H., & Lopez Campos, M. (2019). A simulation based modelling approach to jointly support and evaluate spare parts supply chain network and maintenance system.
- (Duran, 2019)** Duran, O., & Alfonso, P. S. L. P. (2019). An activity based costing decision model for life cycle economic assessment in spare parts logistic management. In International Journal of Production Economics.
- (Hu, 2017)** Hu, Q., Chakhar, S., Siraj, S., & Labib, A. (2017). Spare parts classification in industrial manufacturing using the dominance based rough set approach. European Journal of Operational Research.
- (Bounou, 2017)** Bounou, O., El Barkany, A., & El Biyaali, A. (2017). Inventory models for spare parts management: A review. International Journal of Engineering Research in Africa.
- (OldeKeizer, 2016)** Minou C.A, OldeKeizer, RuudH.Teunter, Jasper Veldman (2016) Joint condition-based maintenance and inventory optimization for systems with multiple components
- (Roda, 2014)** Roda, I., Macchi, M., Fumagalli, L., & Viveros, P. (2014). A review of multi-criteria classification of spare parts: From literature analysis to industrial evidences. Journal of Manufacturing Technology Management.

(Cavalieri, 2008) Cavalieri, S., Garetti, M., MacChi, M., & Pinto, R. (2008). A decision making framework for managing maintenance spare parts. *Production Planning and Control*.

(Marseguerra, 2005) Marzio Marseguerra*, Enrico Zio, Luca Podofillini. (2005). Multiobjective spare part allocation by means of genetic algorithms and Monte Carlo simulation.

(Braglia, 2004) Braglia, M., Grassi, A., & Montanari, R. (2004). Multi attribute classification method for spare parts inventory management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*.

(Ramanathan, 2004) Ramakrishnan Ramanathan ABC (2004). Inventory classification with multiple-criteria using weighted linear optimization.

(Hopp, 1997) Wallace, J. Hopp, Mark, L. Spearman & Rachel, Q. Zhang. (1997). Easily Implementable Inventory Control Policy.

(Kimberly Clark, 2021) Reporte del Nivel de inventario de repuestos Kimberly Clark Colpapel, Abril 2021, Archivo LAO MRO DB.xls.