

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**MARCO DE TRABAJO PARA LA GESTIÓN DE INVENTARIOS DE
RESPUESTOS EN UNA EMPRESA DE MONTACARGAS BASADO EN
TECNICAS DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO, SIMULACIÓN Y
OPTIMIZACIÓN**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Industrial

AUTOR

Cuya Nizama, Eduardo Andre

ASESOR:

Carbajal López, Eduardo

Lima, Julio, 2022

RESUMEN

Los inventario de partes de repuestos se caracterizan por albergar un gran volumen de productos con características distintas y poseer una demanda intermitente y altamente variable, lo cual hace que la tarea de realizar un planeamiento adecuado a través de métodos tradicionales sea imposible. Se propone un marco de trabajo basado en técnicas de clasificación, pronóstico, simulación y optimización como propuesta para encontrar la política óptima para la gestión cada producto y de esa manera reducir los costos derivados de esta. Este documento estudia la situación actual de una empresa de venta y alquiler de montacargas peruana que atraviesa por esta problemática y detalla el procedimiento y técnicas de modelamiento matemática que se deben aplicar en cada etapa para poder implementar el marco de trabajo. Para la etapa de clasificación, se sustenta el uso de un nuevo sistema de clasificación alfa-omega de 5 categorías. En la etapa de pronóstico, se propone el uso de métodos basados en Inferencia Bayesiana. En la etapa de simulación, se hace uso del método de Montecarlo para recrear las diversas políticas posibles para cada producto. En la etapa de optimización, se hace uso de Optimización Bayesiana para encontrar los parámetros de dichas políticas tales que maximizan la utilidad. Para finalizar, se evalúan los requisitos y beneficios económicos que conlleva la implementación de este marco de trabajo. Se concluye que el marco de trabajo propuesto puede llegar a generar ahorros significativos para la empresa; sin embargo, para lograr el éxito en su implementación es necesario de una cultura organizacional que permita la sinergia entre las áreas involucradas.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
AGRADECIMIENTOS	6
DEDICATORIA	7
INTRODUCCIÓN	8
1. DESCRIPCIÓN Y DIAGNÓSTICO.....	9
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....	9
1.1.1 EMPRESA Y ACTIVIDAD COMERCIAL	9
1.1.2 PRODUCTOS	9
1.1.3 SERVICIOS	12
1.1.4 CLIENTES.....	13
1.1.5 PROVEEDORES	14
1.1.6 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	15
1.2 DIAGNOSTICO	15
1.2.1 MAPEO DE PROCESOS	15
1.2.2 GESTIÓN DE INDICADORES.....	21
1.2.3 PRIORIZACIÓN DE PROBLEMAS.....	22
1.2.4 ANÁLISIS DE CAUSAS.....	23
1.2.5 SELECCIÓN DE CONTRAMEDIDAS.....	29
2. PROPUESTA DE MEJORA.....	32
2.1 RECOPIACIÓN DE DATOS	32
2.2 ANÁLISIS DE DATOS	34
2.2.1 ANÁLISIS DE LA DEMANDA.....	34
2.2.2 ANÁLISIS DE GESTIÓN ACTUAL.....	36
2.3 SUPUESTOS DEL MODELO.....	37
2.4 DESCRIPCIÓN DEL MODELO	38
2.5 MODELO DE GESTIÓN DE INVENTARIO DE REPUESTOS.....	39
2.5.1 CLASIFICACIÓN DE CONTROL DE INVENTARIOS	39
2.5.2 CLASIFICACIÓN PARA PRONÓSTICO DE INVENTARIOS.....	45
2.5.3 PRONOSTICO.....	47
2.5.4 SIMULACIÓN.....	52
2.5.5 OPTIMIZACIÓN	54
2.6 DETERMINACIÓN POLÍTICA DE INVENTARIO OPTIMA	54
2.7 VALIDACIÓN DE RESULTADOS.....	55
2.8 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	56
2.9 ALTERNATIVAS DE MEJORA	57
3. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PROPUESTA.....	60

3.1 EVALUACIÓN TÉCNICA	60
3.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	61
3.2.1 INGRESOS RELEVANTES.....	61
3.2.2 EGRESOS RELEVANTES.....	63
3.2.3 FLUJO DE CAJA ECONÓMICO.....	69
3.2.4 ESTUDIO DE SENSIBILIDAD	69
CONCLUSIONES	74
RECOMENDACIONES.....	75
BIBLIOGRAFÍA	76



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Montacargas con motor de combustión interna	10
Figura 2: Montacarga elevador de gran capacidad H360-36/48HD	10
Figura 3: Porta contenedor H180-230HD-EC/D	10
Figura 4: Montacargas eléctrico de $\frac{3}{4}$ J1.5-2.0XNT	11
Figura 5: Montacargas para pastillos estrechos C1.0-1.5	11
Figura 6: Transpaleta B60ZAC	12
Figura 7: Apilador de pallets R1.4-2.5	12
Figura 8: Recogedor de pedidos L02.0-2.5	12
Figura 9: Cartera de clientes EUROLIFT S.A.	14
Figura 10: Hyster (Proveedor principal)	14
Figura 11: Organigrama Eurolift.....	15
Figura 12: Mapa de procesos EUROLIFT S.A.	16
Figura 13: Flujo de actividades del proceso de ventas	17
Figura 14: Flujo de actividades del proceso de alquiler	17
Figura 15: Flujo de actividades del proceso repuestos y servicios	18
Figura 16: Diagrama de procesos.....	20
Figura 17: Matriz correlación-visibilidad de indicadores.....	21
Figura 18: Diagrama de Ishikawa Ruptura de Stock	24
Figura 19: Diagrama de Ishikawa Descuadre de Inventario	25
Figura 20: Diagrama Ishikawa Costos Elevados de Inventario	26
Figura 21: Diagrama 5W Ruptura de Stock	28
Figura 22: Diagrama 5W Alto costos de inventario	28
Figura 23: Diagrama 5W Descuadre de inventarios.....	29
Figura 24: Horómetros.....	35
Figura 25: Demanda Repuestos Mantenimiento Preventivo	35
Figura 26: Demanda Repuestos Mantenimiento Correctivo.....	36
Figura 27: Ciclo de Vida-Inventario de Repuestos	36
Figura 28: Modelo Propuesto de Gestión de Inventarios	37
Figura 29: Estructura del modelo planteado.....	39
Figura 30: Pareto Inventario	41
Figura 31: Matriz multicriterio ABC (Consumo-Nivel de Inventario).....	42
Figura 32: Matriz multicriterio ABC (S/.).....	43
Figura 33: Clasificación para pronóstico de Inventarios	46
Figura 34: Pronósticos por cuadrante (AID-CV)	46
Figura 35: Demanda Lumpy/Intermitente	48
Figura 36: Inferencia Bayesiana (Datos).....	48
Figura 37 Inferencia Bayesiana (Parametros)	49
Figura 38: Inferencia Bayesiana (Modelo).....	49
Figura 39: Convergencia MCMC.....	50
Figura 40: Pronostico Croston	51
Figura 41: Pronostico Prophet.....	51
Figura 42: Flujo de Inventario	52
Figura 43: Simulación de Inventario para el producto 1	56
Figura 44: Distribución de Utilidad para el producto 1	57
Figura 45 Utilidad en función de Q y s Fuente: Elaboración Propia	58
Figura 46: Optimización Bayesiana para los parámetros del Producto 1	59
Figura 47: Función de Adquisición para el espacio de parámetros del Producto 1	59
Figura 48: Arquitectura propuesta para la herramienta de optimización de inventarios.....	67
Figura 49: Interfaz de usuario propuesta.....	68
Figura 50: Variación TIR frente al parámetro de factor de Escala K	70
Figura 51: Variación VPN frente al parámetro de factor de Escala K.....	71
Figura 52: Punto de Equilibrio – Factor de escala.....	71
Figura 53: Costo de capital vs Valor Presente Neto	72

Figura 54: Punto de Equilibrio – Costo de capital.....	72
Figura 55: Histograma Tasa de Retorno (K=80).....	73
Figura 56: Histograma Valor Presente Neto (K=80).....	73



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Eurolift.....	9
Tabla 2: Cartera de clientes EUROLIFT S.A.....	13
Tabla 3: Estructura financiera de la empresa	18
Tabla 4: Prioridad de procesos.....	18
Tabla 5: Matriz de priorización de macroprocesos	19
Tabla 6: Indicadores para medir la optimización de inventarios	22
Tabla 7: Priorización de problemas.....	23
Tabla 8: Diagrama PI.....	27
Tabla 9: Criterios FACTIS.....	30
Tabla 10: Matriz FACTIS.....	30
Tabla 11: Horómetros 2019-2020	32
Tabla 12: Plan de Mantenimiento	33
Tabla 13: Inventario Actual	33
Tabla 14: Historia Clínica.....	34
Tabla 15: Clasificación ABC Inventario(S/.)	41
Tabla 16: Clasificación Meses de Inventario	42
Tabla 17: Clasificación Actual a Nueva.....	43
Tabla 18: Clasificación alpha-omega (S/.).....	44
Tabla 19 Clasificación Alpha-omega (Cantidad de SKUs).....	44
Tabla 20: Políticas de Inventario.....	45
Tabla 21: Clasificación Pronostico	45
Tabla 22: Valor de Inventario por clasificación	47
Tabla 23: Estimación de parámetro lambda	50
Tabla 24: Resultados Simulación Desengrasante Básico	53
Tabla 25: Parámetros Óptimos (s, Q).....	54
Tabla 26: Productos para la validación de resultados.....	55
Tabla 27: Política y Demanda de los productos a analizar	56
Tabla 28: Política Optimizada vs Antigua para un conjunto de repuestos.....	60
Tabla 29: Variación en puntos porcentuales en Fill Rate y Nivel de Servicio.....	61
Tabla 30: Variación en unidades monetarias en costo, ingresos y utilidad.....	62
Tabla 31: Costos desarrollo herramienta de gestion de inventario de repuestos.....	64
Tabla 32: Costos capacitación personal	65
Tabla 33: Costos mantenimiento.....	65
Tabla 34: Tiempos por etapa.....	66
Tabla 35: Costos Arquitectura Cloud.....	68
Tabla 36: Flujo de caja económico	69

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a mi asesor Mg. Eduardo Carbajal, quien con sus conocimientos y experiencia me guió en el desarrollo del presente trabajo y a poder alcanzar los objetivos esperados.

De la misma manera, agradezco a Arturo García Calderón y EUROLIFT S.A por brindarme todos los recursos necesarios para poder realizar el trabajo de investigación. Sin su incondicional ayuda, no hubiera sido posible la realización de este trabajo.

A su vez, agradezco a Christian Ramírez Luna, gerente general de Black Andes Analytics, por compartir conmigo su amplia experiencia y conocimientos en analítica para cadena de suministros, indispensables para el desarrollo de este trabajo.

Asimismo, agradezco a mi abuelita Victoria, a mis padres y mis hermanos por darme el soporte necesario para poder concluir de manera satisfactoria la presente tesis. Sin ellos no hubiera sido posible este trabajo.

Por último, agradezco a Valeria, por siempre darme su apoyo y brindarme la motivación necesaria para poder completar satisfactoriamente este trabajo.

Muchas gracias a todos.



DEDICATORIA



*Dedico este trabajo a mis padres, hermanos
y abuelita por brindarme siempre su apoyo
incondicional y tiempo. Este trabajo solo
fue posible gracias a ustedes.*

INTRODUCCIÓN

A pesar de que la situación económica actual que atraviesa Perú no es la mejor, las empresas deben buscar la manera de innovar y optimizar sus procesos de tal manera que puedan sobrellevar la situación. Un punto de mejora para muchas empresas se encuentra en la gestión de la cadena de suministro, dado que muchas de estas se encuentran en una etapa primaria de desarrollo. Actualmente, nos encontramos en un contexto donde los consumidores son cada vez más exigentes y requieren de servicios y/o productos personalizados. La gestión efectiva de la cadena de suministros es un factor que permite a las empresas competir con las más grandes del mercado. Todas las empresas tienen un factor que hace a su cadena de suministro única, lo que a su vez genera un reto distinta para cada una. Vivimos en una era donde el desarrollo de la tecnología se da de manera exponencial. Tecnologías como internet de las cosas, inteligencia artificial, aprendizaje de máquina y blockchain junto con el aumento significativo del volumen de datos y el desarrollo de los servicios de nube presentan oportunidades no solo para las grandes empresas; sino también para las que se encuentran recién constituyéndose. Una gran revolución está en camino y solo aquellas empresas que encuentren la estrategia óptima y sepan como liderar a su equipo en la transformación digital serán las que sobrevivan.

Bajo estas premisas , se plantea un marco de trabajo para la gestión de inventario de repuestos. Estos inventarios se caracterizan por albergar un gran volumen de productos con características distintas y poseer una demanda intermitente y altamente variable, lo cual hace que la tarea de realizar un planeamiento adecuado sea una pesadilla. A pesar de que las metodologías tradicionales, no son suficientes para poder sobrellevar este reto, el avance en técnicas de modelamiento matemático y capacidad de procesamiento computacional nos brindan una oportunidad para poder vencer este reto

En el primer capítulo, estudiaremos la situación actual de una empresa de venta y alquiler de montacargas peruana que atraviesa por este problema. Se analizarán a detalle cuales son las consecuencias de este problema, las causas y por qué el marco a trabajo propuesto es una de las soluciones óptimas para combatir el problema. En el segundo capítulo, se ahondará en el modelamiento matemático y técnicas utilizadas para desarrollar nuestro marco de trabajo. Este capítulo se centrará en cuatro etapas, clasificación, pronóstico, simulación y optimización. En el tercer capítulo, analizaremos la viabilidad económica de la propuesta y cuáles son los ingresos y costos relevantes que se tienen producto de su implementación. Por último, se hará cierre del estudio brindando las conclusiones de este y recomendaciones que permitan a la empresa implementar la propuesta de cuestión de manera exitosa.

Capítulo 1 : Descripción y Diagnóstico

En el presente capítulo se desarrollará la descripción de la empresa en la que se centrará este trabajo y el análisis de sus procesos principales a través de un mapeo que permita tener un panorama completo de la empresa. Posterior a eso, se realizará un diagnóstico de los problemas presentes actualmente y una priorización de estos de acuerdo con el impacto que tienen en los resultados de la empresa. Al final del capítulo, se realizará la selección de medidas para superar estos problemas.

1.1 Descripción de la empresa

El siguiente trabajo será realizado en una empresa dedicada al suministro de montacargas y repuestos a sus clientes. En los siguientes subcapítulos, se describirá más a profundidad la empresa, su actividad comercial, productos, servicios, clientes y estructura organizacional

1.1.1 Empresa y actividad comercial

EUROLIFT S.A es una empresa peruana dedicada a la comercialización, distribución y arrendamiento de equipos montacargas, venta de repuestos y la prestación de servicios de reparación y mantenimiento para equipos montacargas. Actualmente, la empresa cuenta con un sistema de gestión integrado basado en las normas ISO 9001, ISO 14001 y ISO 45001, lo cual lo permite brindar un servicio de calidad a sus clientes. Fue fundada en el año 2010 y es el resultado de la asociación entre la empresa Tattersal Maquinarias (representante oficial de Hyster en Chile) y del grupo local Euromotors. EUROLIFT S.A es el representante oficial en Perú de Hyster, marca líder a nivel internacional en la producción de montacargas con más de 40 años en el Perú y 80 años a nivel mundial. En la Tabla 1, se observa una descripción puntual de los datos principales de la empresa.

Tabla 1: Eurolift

Razón Social	EUROLIFT S.A.
RUC	20536982559
Dirección	Av. Martínez Lujan 1202 Surquillo
teléfono	2431313
Email	agarciaalderon@lperu.pe
Página Web	http://www.lperu.pe/

1.1.2 Productos

EUROLIFT S.A. comercializa y alquila una gran variedad de montacargas de la marca Hyster que se acomodan a las necesidades de sus clientes. En el modelo de negocio manejado actualmente, la cantidad de equipos alquilados representa el 70% y los equipos vendidos el 30%. Entre sus productos principales se tienen los siguientes tipos de montacargas.

Montacargas con motor de combustión interna / ICI Compactos: Pertenece a la gama de vehículos montacargas contrapesados. Son vehículos multifuncionales para la carga, despacho, almacén y descarga de materiales. Reconocidos por su asombroso diseño ergonómico, solidez, durabilidad y altos niveles de productividad. En la Figura 1 se puede observar un ejemplo de este montacarga.



Figura 1: Montacargas con motor de combustión interna
Fuente: Eurolift

Montacargas elevador de gran capacidad: Perteneciente a la gama de vehículos montacargas contrapesados, diseñado para cargas elevadas y condiciones de trabajo exigentes. En la Figura 2 podemos ver un ejemplo de este montacarga.



Figura 2: Montacarga elevador de gran capacidad H360-36/48HD
Fuente: Eurolift

Porta Contenedores: Permiten manipular cargas de hasta 52 toneladas con un bajo costo operacional. Ideal para el transporte de contenedores a montacargas comerciales. En la Figura 3 se observa un ejemplo de este montacarga.



Figura 3: Porta contenedor H180-230HD-EC/D
Fuente: Eurolift

Montacargas eléctricos de 3/4 ruedas: La cantidad de ruedas a seleccionar depende del tipo de aplicación y de la preferencia de la empresa. Los montacargas de 3 ruedas se caracterizan por sus altos niveles de eficiencia energética, mientras que los montacargas de 4 ruedas se caracterizan por un mayor nivel de productividad. En la Figura 4 podemos ver un ejemplo de este montacarga.



Figura 4: Montacargas eléctrico de $\frac{3}{4}$ J1.5-2.0XNT
Fuente: Eurolift

Montacargas para pasillos estrechos (VNA): Su función principal es recolectar elementos de diversas ubicaciones de almacenamientos de una manera óptima y eficiente. Son útiles en operaciones de alta densidad. En la Figura 5 podemos ver un ejemplo de este montacarga.



Figura 5: Montacargas para pasillos estrechos C1.0-1.5
Fuente: Eurolift

Transpaletas: Su función principal es trasladar cargas dentro de las bodegas. Los transpaletas Hyster destacan por su ajuste flexible de carga, eficiencia energética, ergonomía y bajos costos de mantenimiento. En la Figura 6 se puede observar un ejemplo de este tipo de montacarga.



Figura 6: Transpaleta B60ZAC
Fuente: Eurolift

Apiladores de pallets: Los apiladores Hyster son ideales para almacenar y extraer cargas desde los racks. Destacan por su confiabilidad operativa en pasillos reducidos y para altos niveles de altura. En la Figura 7 podemos ver un ejemplo de este montacarga.



Figura 7: Apilador de pallets R1.4-2.5
Fuente: Eurolift

Recogedoras de pedidos: Diseñadas para que el proceso de selección de productos sea lo más sencillo posible para el operador y maximizar la utilización de bodega. En la Figura 8 podemos ver un ejemplo de este montacarga.



Figura 8: Recogedor de pedidos L02.0-2.5
Fuente: Eurolift

1.1.3 Servicios

EUROLIFT S.A. ofrece el servicio de mantenimiento para toda la familia de montacargas que ofrece buscando maximizar el tiempo de operación ininterrumpida de los equipos y su correcto desempeño a

nivel operacional y de eficiencia energética. Se ofrecen tiene 3 tipos de mantenimiento.

- **Mantenimiento Predictivo:** Se dan periódicamente a las maquinas alquiladas en busca de diagnosticar el estado y solucionar problemas existentes. Consiste en la realización de un cambio de aceite, lubricación y ajustes a la máquina. De esta manera EUROLIFT S.A. reduce los costos de mantenimiento futuros a través del ahorro en repuestos y reducción de tiempos de mantenimiento.
- **Mantenimiento Correctivo:** Los mantenimientos correctivos se dan en caso se presente una falla que imposibilite el funcionamiento de los equipos tanto alquilados como vendidos. En el caso de no contar con una garantía los costos son asumidos por el cliente. EUROLIFT cuenta con técnicos altamente capacitados en el servicio de mantenimiento de montacargas Hyster.
- **Mantenimiento Garantía:** El mantenimiento garantía al igual que el correctivo, se da en caso de fallas del equipo. Sin embargo, los costos de este tipo de mantenimiento son asumidos por la empresa. El cliente asume un precio adicional al momento de adquirir el equipo por este tipo de garantía.

1.1.4 Clientes

EUROLIFT S.A. desde el inicio de su fundación, ha venido formando una cartera de clientes solida con clientes destacables en la industria. Para mantener esta comunicación optima con sus clientes, EUROLIFT S.A, determina e implementa disposiciones eficaces a través de los distintos departamentos de la organización. Sus principales clientes se listan en la Tabla 2 y sus logos en la Figura 9.

Tabla 2: Cartera de clientes EUROLIFT S.A.

Razón social	Antigüedad	Razón social	Antigüedad
RANSA S.A.	4 años	PAPELERA DEL SUR	4 años
PROCESADORA TORRE BLANCA	3 años	PERUVIAN PACIFIC LINE	3 años
DANPER S.A.	2 año	TERMINALES PORTUARIOS PERUANOS	3 años
CAMPOSOL	2 año	SIDERPERU	2 años
KIMBERLY CLARK	3 años	PURATOS PERU	2 años
METSO PERU	5 años		



Figura 9: Cartera de clientes EUROLIFT S.A.

Fuente: Eurolift

1.1.5 Proveedores

El principal proveedor de EUROLIFT S.A. es Hyster, proveedor líder de vehículos montacargas para la industria por más de 8 décadas. Hyster realiza distribución de sus productos a todas las regiones del mundo. Todas las plantas de Hyster cuentan con certificación ISO. Hyster cuenta con una sólida red de distribuidores cuidadosamente elegida y con profundo conocimiento de la industria. Además de los vehículos montacargas, Hyster provee de piezas y asesoría técnica a sus subsidiarias. En la Figura 10, se observa el logo de esta empresa.

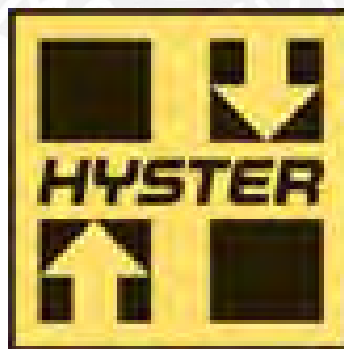


Figura 10: Hyster (Proveedor principal)

Fuente: Eurolift

1.1.6 Estructura organizacional

La estructura de EUROLIFT es jerárquica y su división es del tipo funcional centrada en las 4 áreas principales del negocio: Operaciones, Administración, Desarrollo de Negocios, Ventas. En la Figura 11, se puede ver el organigrama de la empresa.

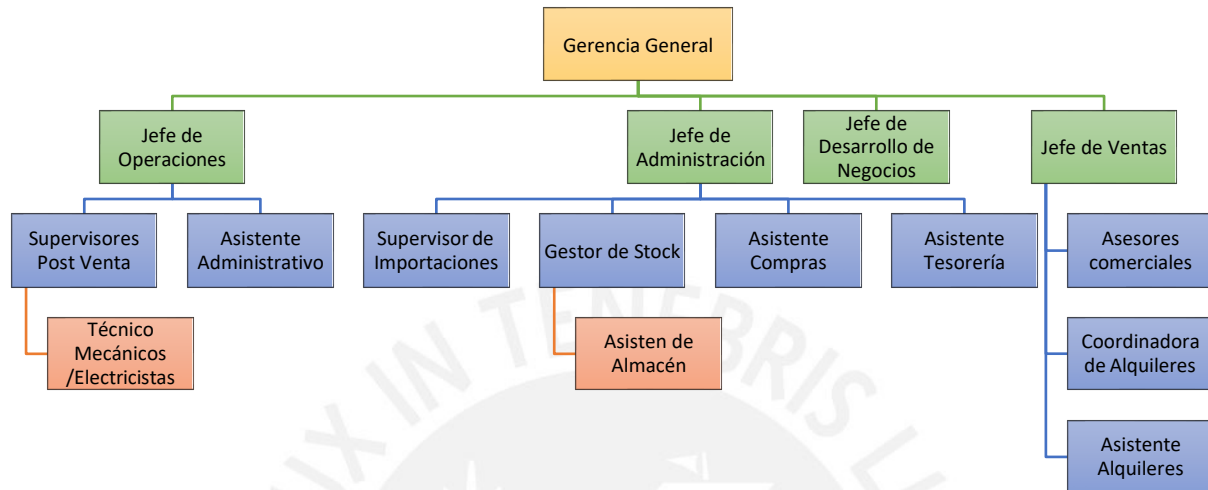


Figura 11: Organigrama Eurolift
Fuente: Eurolift

1.2 Diagnostico

En esta sección se realizará un diagnóstico general de los procesos de la empresa EUROLIFT S.A. En primer lugar, se realizará el mapeo y descripción de los procesos principales de la empresa. A través de un análisis a nivel operativo y financiero de los macroprocesos se ubicará al proceso crítico. Posterior a eso, se plantearán indicadores para medir y diagnosticar la situación de cada una de las actividades que conforman al proceso crítico. Se priorizaran los problemas existentes y se realizara un análisis para encontrar las causas raíz de estos. Finalmente, se procederá a plantear contramedidas y seleccionar la más adecuada.

1.2.1 Mapeo de Procesos

Actualmente, la distribución de los procesos que maneja. Esta estrategia de división procesos es parte de la mejor continua de su sistema de gestión integrada. En la Figura 12 se puede observar a nivel macro los procesos de la empresa, divididos de acuerdo con su tipo en procesos de dirección, operativos y de apoyo y control.

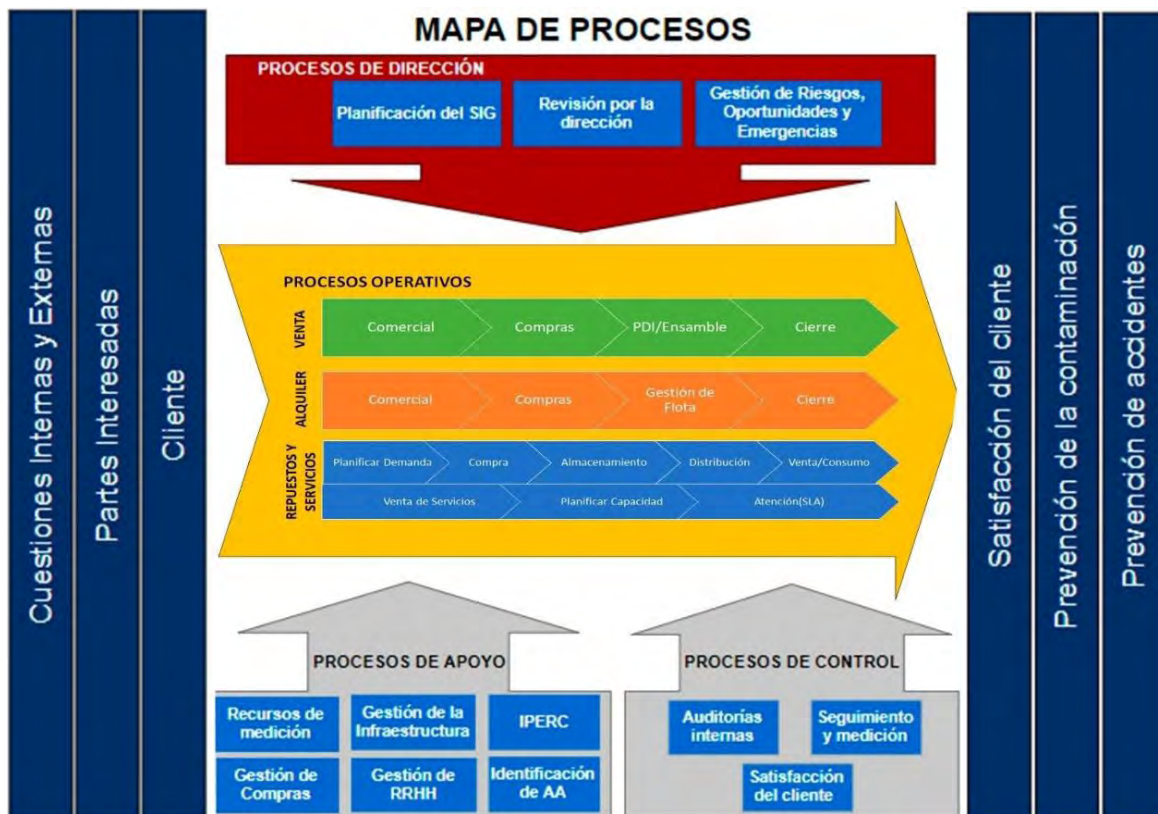


Figura 12: Mapa de procesos EUROLIFT S.A.
Fuente: Eurolift

La planificación del sistema integrada de gestión (SIG) considera como entradas el contexto y expectativas de las partes interesadas de la organización, los objetivos de esta, riesgos y aspectos legales, ambientales y otros requisitos. El sistema a través de sus procesos tiene como salida la satisfacción del cliente, la reducción de impacto ambiental significativos, y la prevención óptima de riesgos.

En el caso de los procesos operativos EUROLIFT define tres líneas principales de negocio: Venta de montacargas, Alquiler de montacargas y una línea de Repuestos y Servicios. Estos procesos son controlados y soportados por las áreas de Gestión de TI, Gestión Humana, Procesos y Mejora Continua, Contabilidad, Gestión de Tramites Control de Contratos, Seguridad y salud en el trabajo (SST) y Gestión de activos y pasivos,

A partir del mapa de procesos a nivel macro presentado en la Figura 12, se procede a identificar cuáles son los procesos operativos que tienen mayor repercusión en el sistema tanto a nivel de facturación, margen bruto y operativo. Para lograrlo se realizó un análisis exhaustivo de las 3 divisiones operativas principales, mencionadas líneas anteriores.

Venta

El proceso de ventas de montacargas está conformado de 4 módulos: Comercial, Compras, PDI/Ensamble y Cierre. En el módulo comercial, se realiza el armado de la propuesta y cotización, así como el negocio de las condiciones de contrato. El módulo de compras se encarga de todos los trámites relacionados a la importación del equipo, la cual puede ser realizada de manera aérea o terrestre, así como los procesos logísticos relacionados al traslado y almacenaje. Posterior a eso en el módulo de PDI/Ensamble se verifica el estado de los equipos y los requerimientos del cliente. De acuerdo con eso se realizan los ensambles pertinentes y se derivan la maquina a las instalaciones del cliente. Por último, el módulo de cierre se encarga de la realización de la cobranza y gestión de garantías y siniestros. En la Figura 13 se observa el flujo de actividades del proceso de ventas.



Figura 13: Flujo de actividades del proceso de ventas
Fuente: Eurolift

Alquiler

El proceso de alquiler comparte un flujo similar al de ventas. Se encuentra dividido en 4 módulos: Comercial, Compra, Gestión de Flota y Venta. El módulo comercial, se encarga de plantear las tarifas de alquiler, negociar condiciones, armar propuesta/licitación, definir SLA y firmar contrato. En el módulo de compra las operaciones son similares al proceso de venta. Se verifican si se cuenta con stock de la maquina y en el caso de que no se cuenta con stock, se realiza el proceso de importación y todas las implicaciones logísticas que esto conlleva. El módulo de gestión de flota se encarga de gestionar la operatividad de la maquina a través de los mantenimientos; asimismo, controla el cumplimiento de las condiciones contractuales y horas contratadas para luego realizar la facturación y cobranza. Por último, el módulo de venta se encarga de controlar el valor residual de la maquina y de vender el equipo utilizado al mayor valor en el menor tiempo posible. En la Figura 14 se ve el flujo de actividades del proceso de ventas.



Figura 14: Flujo de actividades del proceso de alquiler
Fuente: Eurolift

Repuesto y Servicios

El proceso de Repuestos y Servicios tiene una relación directamente proporcional, debido a que los servicios que ofrece EUROLIFT se centran básicamente en el mantenimiento de las maquinas alquiladas/ventas, el cual se ajusta a las condiciones pactadas en el contrato. En el caso de los repuestos su flujo se basa en planificación de demanda, compra, almacenamiento, distribución y venta/consumo. Para Servicios, el proceso contiene los módulos de Venta de Servicios, Planificar Capacidad y Atención. En la Figura 15 se observa el flujo de actividades para el proceso de repuestos y servicios.

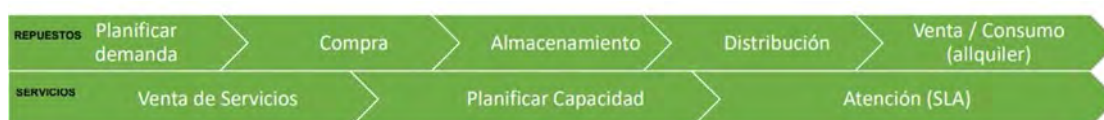


Figura 15: Flujo de actividades del proceso repuestos y servicios
Fuente: Eurolift

Para poder decidir entre cuál de estos procesos es el más crítico, se analizaron los resultados financieros del ejercicio del año 2019. En la Tabla 3, se observa la estructura financiera de la empresa.

Tabla 3: Estructura financiera de la empresa

Operación	Facturación	Margen Bruto	Margen Operativo
Venta	45%	12%	1%
Alquiler	45%	36%	28%
Repuestos y Servicios	10%	28%	-39%

Tabla 4: Prioridad de procesos

Criterio	Nivel de ventas	Representa impacto en el costo de las empresas	Influye en la calidad del servicio	Impacta en los tiempos de planificación de la operación	Recursos consumidos	Ponderación	Nivel de importancia
Macroproceso	25%	30%	10%	20%	15%		
Venta	2	2	3	3	1	2.15	3
Alquiler	2	3	3	4	2	2.8	2
Repuesto y Servicios	4	5	5	3	3	4.05	1

Como se puede observar en la Tabla 4 para el proceso de Repuestos y Servicios, el margen operativo es negativo. El margen operativo se define como la razón entre la utilidad operacional y las ventas. Este indicador es comúnmente asociado con la eficiencia operacional, un valor negativo de aproximadamente -0.4 indica la existencia de ineficiencia en los procesos involucrados y que la línea de negocios no es lucrativa, independientemente de la forma en que haya sido posible su financiamiento. El que el margen bruto sea positivo y el operativo negativo, nos da un indicio de que la empresa debe mejorar su gestión actual en busca de un incremento en los ingresos operativos o también buscar una disminución de los gastos operativos generales o administrativos. Para reducir los gastos operativos, se debe buscar la implementación de procesos de logística y compra más eficientes.

Los criterios de la Tabla 4 de priorización de macroprocesos fueron formulados en base a los objetivos estratégicos que maneja la empresa. Para realizar la puntuación de los factores se consideró un rango de valores comprendido entre 1 a 5, donde 1 indica una débil relación entre el criterio y el macroproceso y 5 indica una fuerte relación. De ese modo, se pudo realizar la ponderación de los criterios determinantes y encontrar el proceso crítico. Para nuestro foco de estudio, se tomará el macroproceso de Repuestos y Servicios, debido a ser el más crítico respecto a los macroprocesos de Ventas y Alquiler.

El proceso de Repuestos y servicios no es complejo en su desarrollo. A diferencia de los otros flujos principales como lo son Venta y Alquiler, este proceso se centra más en la gestión de repuestos sin un proceso de planificación de compras netamente definido. Por lo que se podría reducir su proceso a Planificación, Compra, Almacenamiento y Distribución, como se observa en la Tabla 5.

Tabla 5: Matriz de priorización de macroprocesos

Criterio	Nivel de Inventario	Impacto en costos de transportes	Impacto en costes de almacén	Impacto en calidad de productos	Impacto en tiempos de entrega	Impacto en el nivel de servicio	Ponderación	Nivel de Importancia
	25%	25%	25%	10%	15%	5%		
Planificación	4	4	2	2	4	5	3.55	1
Compra	3	1	3	4	2	3	2.6	3
Almacenamiento	4	1	4	2	1	3	2.75	2
Distribución	2	4	2	2	1	4	2.55	4

Del macroproceso Repuesto y Servicios, se analizará la etapa más crítica del proceso. Este proceso será seleccionado a partir de la matriz de priorización, mostrada en la tabla. Para determinar los factores de elección de estos procesos, nos centraremos en aquellos que afecten más a los costos operativos y nivel

de servicio. De esa manera se determina que el proceso que presenta más criticidad es el de Planificación.

El proceso de planificación comienza con el análisis de los reportes de horómetros, que son las horas de trabajo que acumulado cada máquina que se encuentra en alquiler. Posterior a eso, el encargado, analiza cuales son las maquinas que requieren mantenimiento y a través de la lista de materiales, determina los repuestos necesarios a adquirir para cubrir esa demanda. Actualmente, solo se realiza una pseudo planificación para lo que corresponde a mantenimiento preventivo. Sin embargo, para mantenimiento correctivo y venta de repuestos, no existe ninguna planificación en la actualidad.

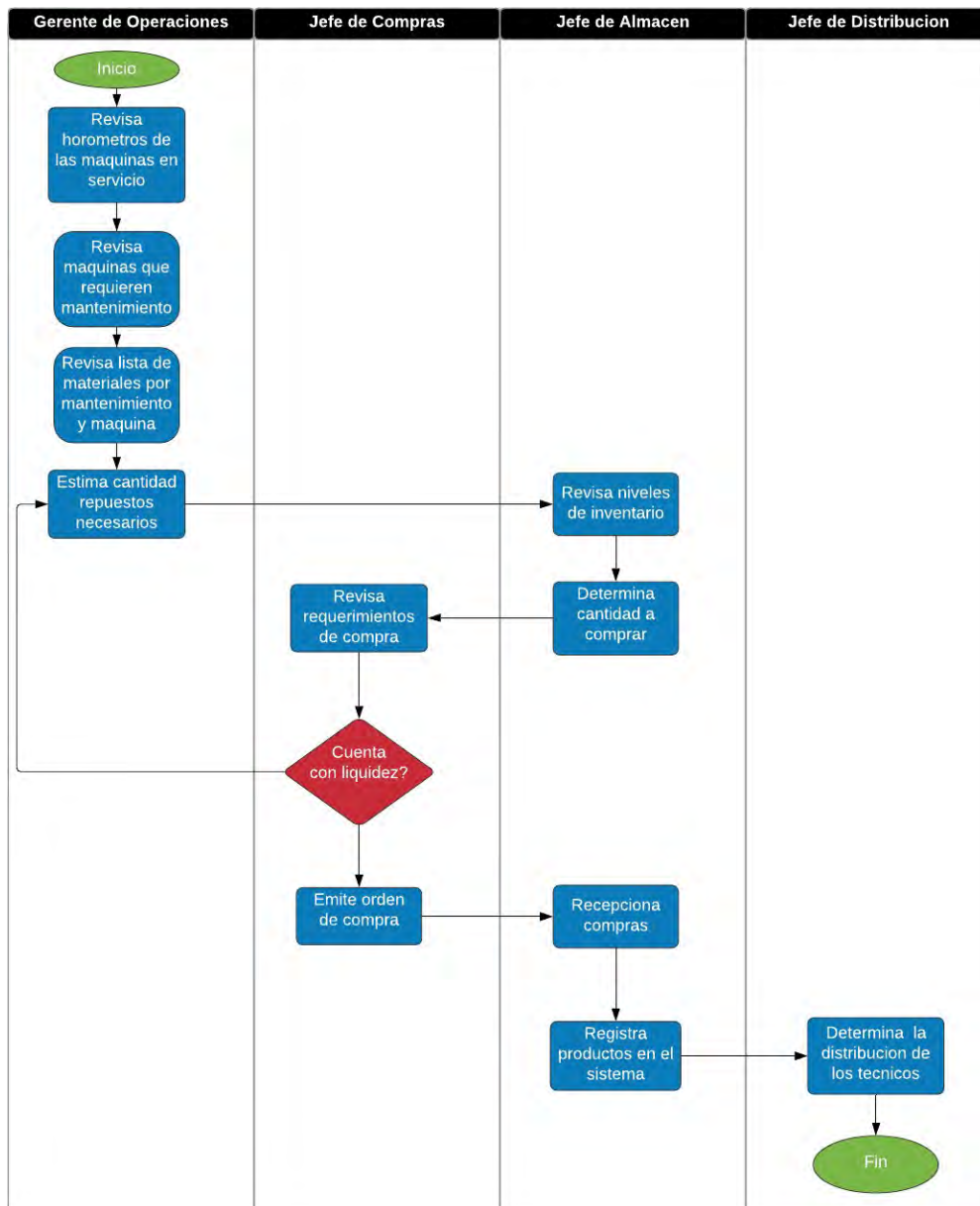


Figura 16: Diagrama de procesos
Fuente: Elaboración Propia

1.2.2 Gestión de indicadores

El proceso principal “Planificación de Repuestos y Servicios”, tal y como se desarrolló en el acápite anterior, cuenta con una serie de actividades que deben ser evaluadas para definir el problema principal. Se necesita plantear indicadores que permitan diagnosticar la situación de cada una las actividades y el desempeño operacional de los encargados. Asimismo, esto nos permitirá plantear mejoras a los procesos críticos. En la Figura 17, se puede observar los indicadores relaciones con el objetivo de aumentar el margen operación en el área de “Repuestos y Servicios”.

Objetivo

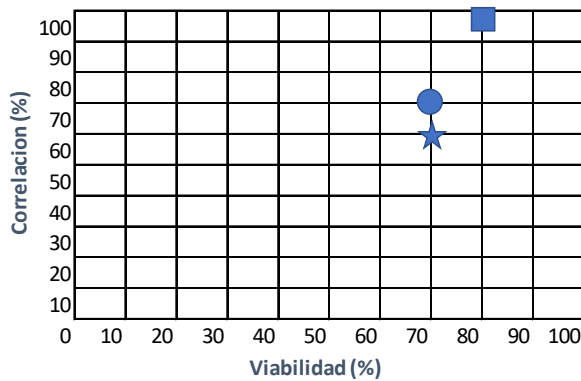
OBJ1. Aumentar el margen operacional en "Repuestos y Servicios"

Indicadores

IND1. Reduccion costos de inventario(%)

IND2. Aumento de nivel de servicio(%)

IND3. Aumento de tasa de fill rate(%)



	IND1	IND2	IND3
Viabilidad	80	70	70
Correlacion	100	70	60

Figura 17: Matriz correlación-visibilidad de indicadores
Fuente: Elaboración Propia

El objetivo principal de la empresa es aumentar el margen operacional existente, que actualmente se encuentra en negativo debido a una utilidad operativa negativa. Esto se encuentra directamente relacionado con los costos operativos (inventario, almacenamiento) y gastos administrativos, egresos de los cuales los relacionados a inventario representan el mayor porcentaje. Para lograr una reducción en los costos de inventario, es necesario optimizar la gestión actual de inventarios, en otras palabras, es necesario redefinir la política de inventario para cada tipo de producto. Para lograr esta optimización se manejarán los indicadores mostrados en la Tabla 6. Estos indicadores permitirán conocer la efectividad de la política planteada.

Tabla 6: Indicadores para medir la optimización de inventarios

Indicador	Descripción	Intención
Precisión de pronóstico de demanda	Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE)	Nos permite reducir la brecha entre la demanda pronosticada y real. Contribuye directamente a reducir los costos de inventario y es un indicador clave de una gestión de inventarios efectiva
Niveles de satisfacción del cliente	Puntajes netos de promotor (NPS)	Los niveles de satisfacción deben evaluarse en todos los canales de distribución. Esto nos permitirá enlazar los tiempos de entrega reales y ver si es el cliente se encuentra satisfecho con ese tiempo
Rendimiento perfecto del pedido	(% pedidos entregados a tiempo) * (% pedidos completados) * (% pedidos sin daños) * (% pedidos con documentación precisa) * 100	Nos permite cuantificar la eficiencia y eficacia de una organización para entregar pedidos completos, precisos y sin daños a los clientes a tiempo
Fill Rate	cantidad entregada / cantidad solicitada	Refleja directamente cuantos pedidos o solicitudes de los centros de material se cumplen. Asimismo, nos da una idea de que tan bien se están administrando los inventarios
Tiempo de ciclo del pedido	Tiempo desde que un cliente hace un pedido hasta que recibe su producto	Nos da una visión completa del proceso de entrega de pedidos y cuáles son los puntos donde se podría mejorar
Precisión de selección, empaque y envío	Cantidad de procesos de selección, empaque y envíos realizados correctamente (%)	Nos permite revelar los puntos débiles y fuertes en los procesos dentro del almacén
Rotación de inventario	Costo de los bienes vendidos / ((Stock inicial- Stock final)/2)	Mide cuantas veces se reemplaza el inventario en un periodo específico. Una mayor rotación, da indicios de una mayor eficiencia del negocio
Costo de inventario	Costos de transporte, Almacenamiento, Pedidos, Rotura de stock	Nos permite tomar decisiones acerca de la política de inventario y estrategias para su optimización

1.2.3 Priorización de problemas

En los acápites anteriores se desarrolló los principales problemas del proceso de gestión de repuestos. Se tiene actualmente un inventario de 4.5 millones de dólares con un periodo de rotación de 2. Los problemas que existen generalmente en esta línea de negocio generan un margen operativo negativo, lo

cual lleva a la empresa a tener pérdidas. En la Tabla 7, se observan los problemas principales junto con al indicador que se utilizara para evaluar el rendimiento.

Tabla 7: Priorización de problemas

Problema	Indicador
No existe plan de demanda para el mantenimiento predictivo, correctivo	Precisión de pronóstico de demanda
No tienen control sobre la vida útil del montacarga	Precisión de pronóstico de demanda
Ruptura de stock frecuentes	Precisión de pronóstico de demanda
Stock que figura en su sistema ERP no coincide con la realidad	Precisión de pronóstico de demanda
Demoras en la gestión de compras	Tiempo de ciclo del pedido
No hay política de mantenimiento correctiva	Rendimiento perfecto del pedido / Tiempo de ciclo del pedido
Altos costos de repuestos	Costo de inventario
Penalización por maquinas paradas	Niveles de satisfacción del cliente

1.2.4 Análisis de causas

Para analizar las causas de los problemas principales detectados se realizará el diagrama de Ishikawa respectivo a cada problema con las causas encontradas subdividas en las dimensiones de mano de obra, equipos, materiales, método, gestión y medio ambiente. Para identificar las causas más relevantes, la probabilidad y el impacto que tenían estas se procedió a realizar una reunión entre el Gerente General (GG), Gerente de Operaciones (GO), Encargado de Planeamiento (EP), Jefe de ventas (JV) y Encargado de Almacén (EA). Se realizó ponderación de pesos de las opiniones que cada uno de esta tenía, según su nivel de jerarquía y relación con el proceso de Planificación de Repuestos y Servicios. De acuerdo con esta matriz, los encargados con mayor peso para nuestro análisis son el Gerente General, Gerente de Operaciones y el encargado de Planeamiento.

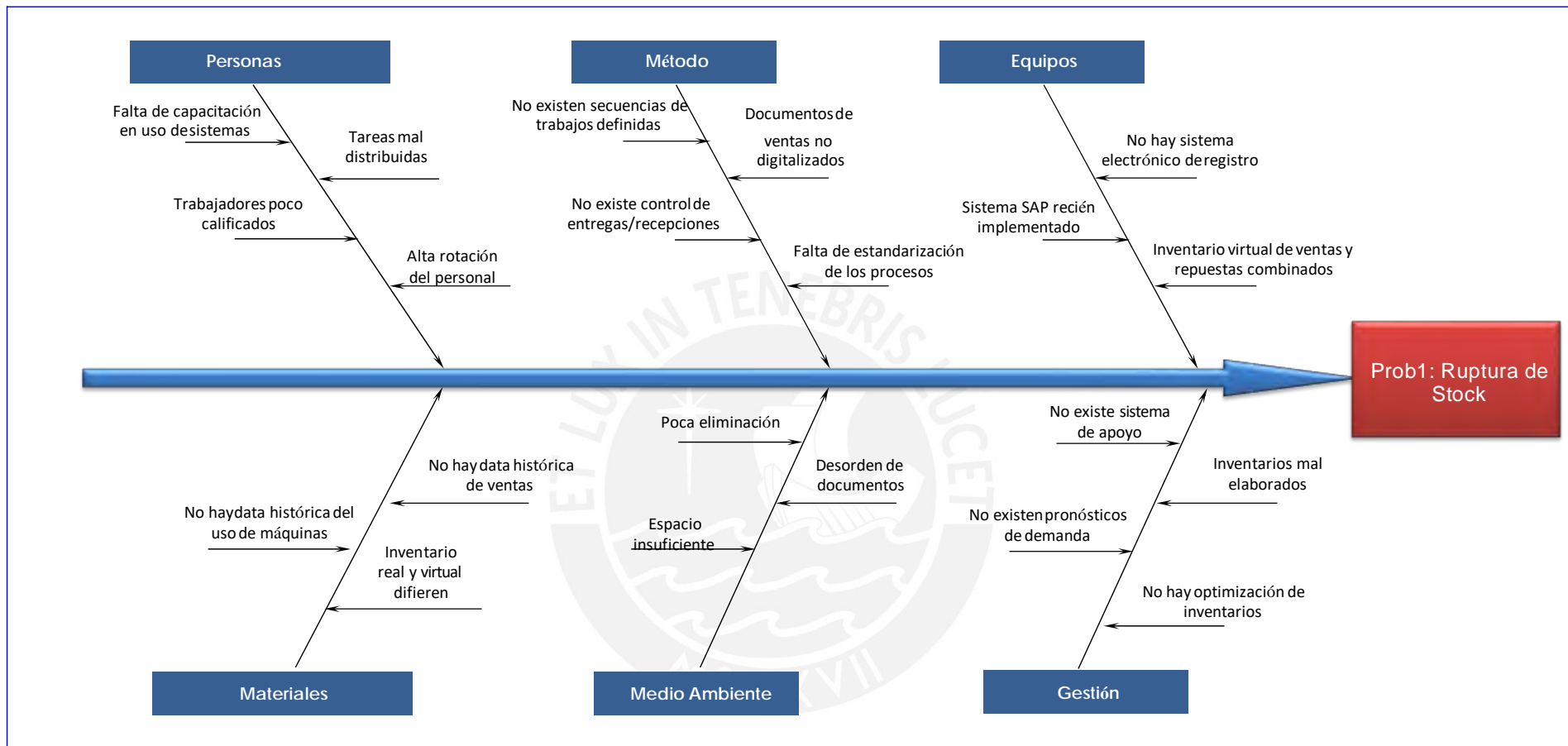


Figura 18: Diagrama de Ishikawa Ruptura de Stock

Fuente: Elaboración Propia

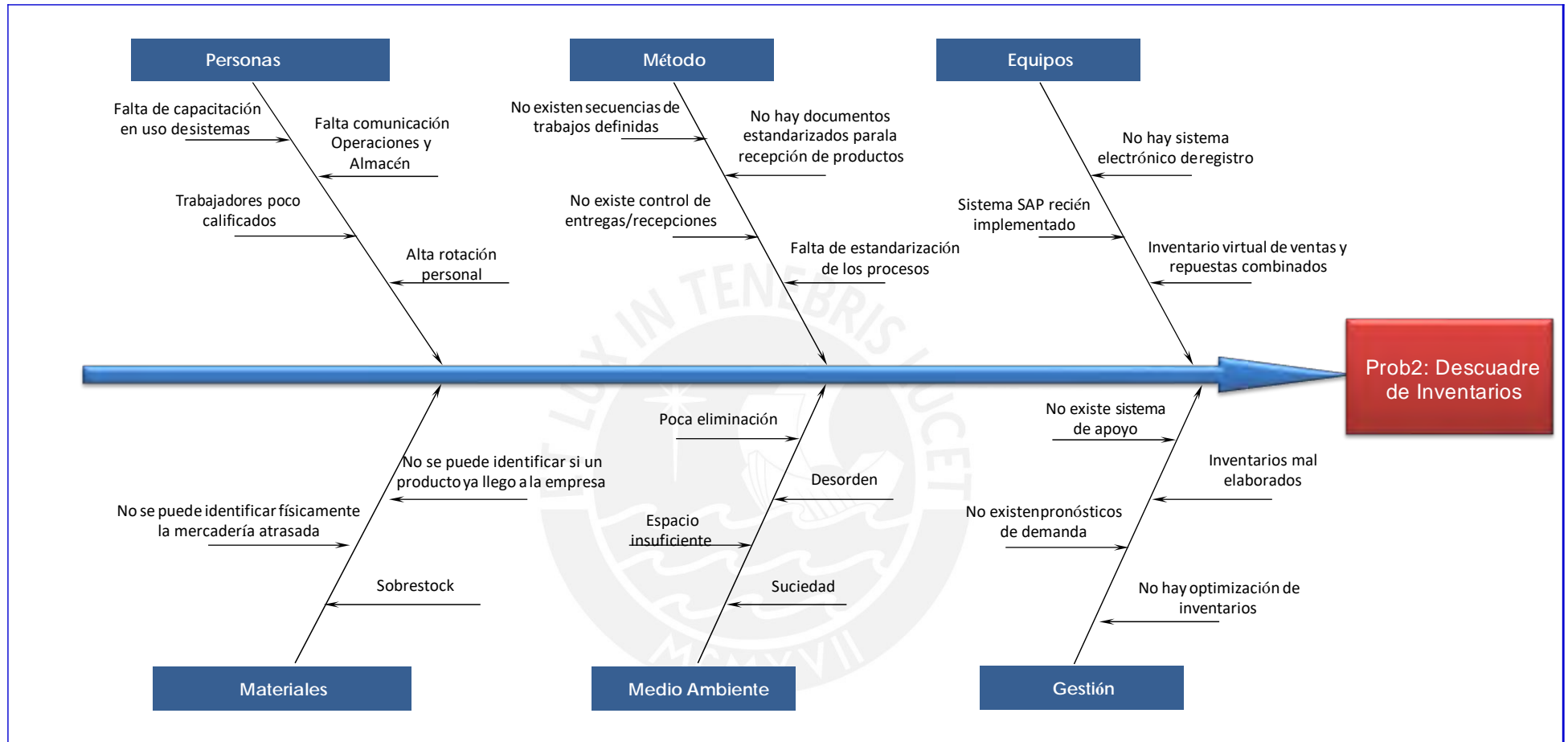


Figura 19: Diagrama de Ishikawa Descuadre de Inventarios

Fuente: Elaboración Propia

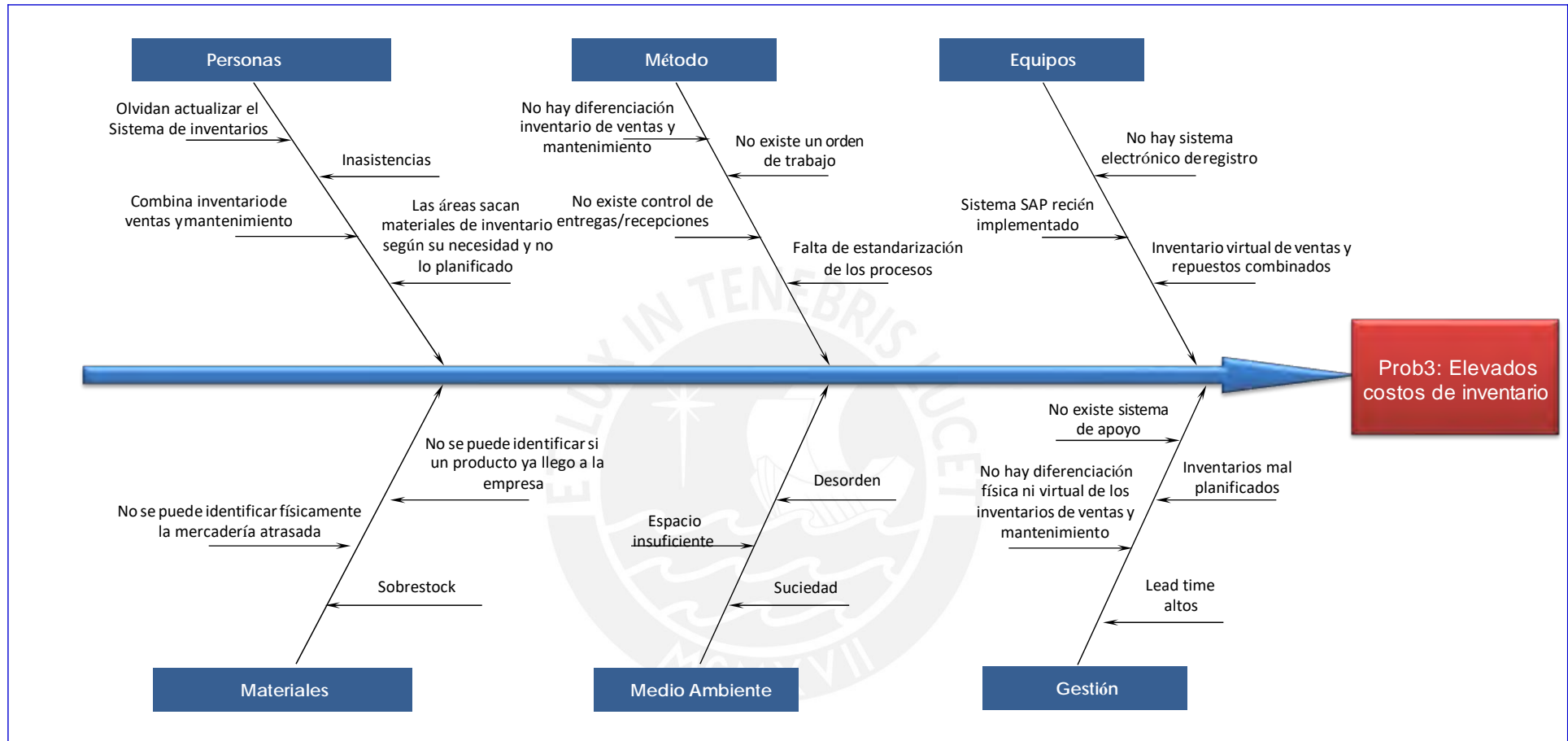


Figura 20: Diagrama Ishikawa Costos Elevados de Inventario

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8: Diagrama PI

Causa	Problema	Probabilidad	Impacto	Puntaje Final
Inventario de ventas y repuestos combinados	1,2,3	5	4.5	22.5
No existe sistema de apoyo	1,2,3	5	4.5	22.5
No existen pronóstico de demandas	1,2,3	5	4.5	22.5
Inventarios mal elaborados	1,2,3	5	4.5	22.5
Falta comunicación operaciones y almacén	2,3	5	4.4	22
No hay optimización de inventarios	1,2	5	4.4	22
Olvidan actualizar el sistema de inventarios	3	5	4.35	21.75
No se puede determinar si un producto ya llego a la empresa	2,3	5	4.35	21.75
Sobrestock	2,3	5	4.35	21.75
Lead time altos	3	5	4.35	21.75
No hay data histórica de ventas	1	5	4.3	21.5
Las áreas sacan inventario según su necesidad y no necesariamente a lo planificado	3	5	3.9	19.5
No hay data histórica del uso de maquinas	1	5	3.9	19.5
No se puede identificar físicamente la mercadería atrasada	2,3	5	3.75	18.75
Inventario virtual y real difieren	1	5	3.55	17.75

Debido a que varias de las causas con mayor impacto en el sistema se encuentran estrechamente relacionadas entre sí, se realizó el diagrama 5W y se decidió optar por los tres diagramas que engloban las causas descritas en la tabla que son ruptura de stock, descuadre de inventarios y altos costos de inventario.



Figura 21: Diagrama 5W Ruptura de Stock

Fuente: Elaboración propia

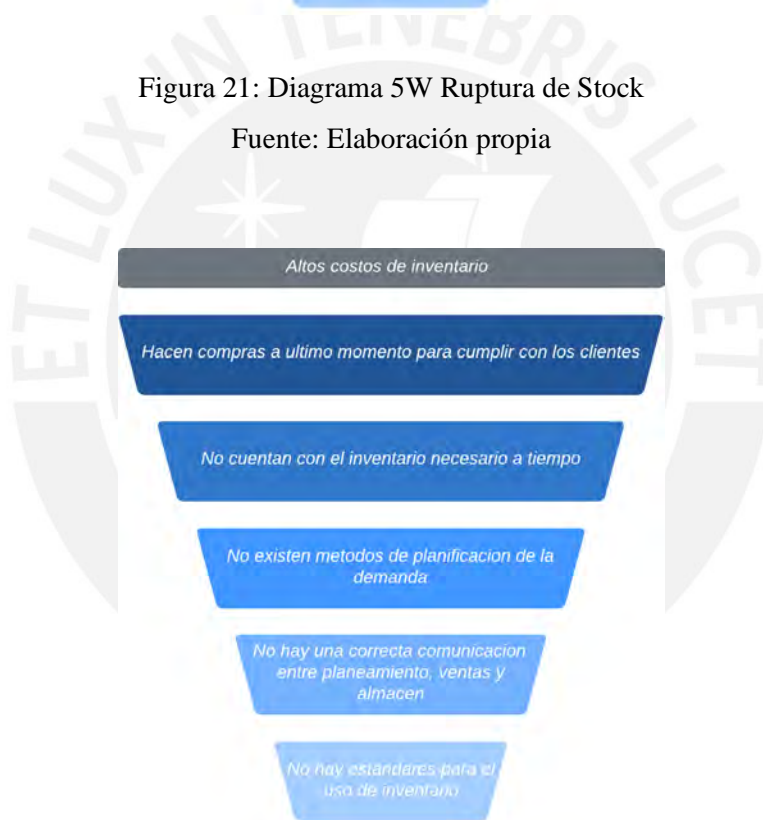


Figura 22: Diagrama 5W Alto costos de inventario

Fuente: Elaboración Propia

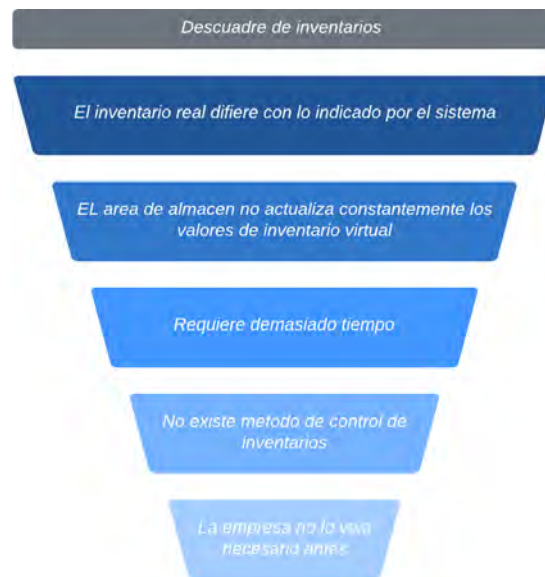


Figura 23: Diagrama 5W Descuadre de inventarios

Fuente: Elaboración Propia

1.2.5 Selección de contramedidas

Para lograr una mejora en el proceso crítico, será necesaria analizar las causas raíz y plantear soluciones que vayan acorde a mitigar o reducir dicha causa.

Como primer punto, se debe determinar estándares para la gestión de inventario de todas las áreas que intervienen en él. Asimismo, se debe implementar un software para el registro de órdenes de compra que este sincronizado con el stock de inventario. Para ello se proponen las siguientes contramedidas:

- **Adquisición de un sistema integrado ERP**, que abarque todas las áreas y les permite intercomunicar sus actividades, para que de esa manera dejen de trabajar de manera aislada y mantengan un mejor conocimiento de las operaciones realizadas por otras áreas. Con eso se eliminaría la falta de comunicación entre el área de planeamiento, almacén y ventas
- **Capacitación y programas de soporte para el área de almacén**, para saber cuándo necesita lanzar una orden de compra y tener controlado la posición de inventario de todos sus ítems y cuadrado el inventario

Por otro lado, según las causas raíz relacionadas con la falta de planificación del área de planeamiento de repuestos y servicios. Se proponen dos contramedidas:

- **Una herramienta DMAIC**, para estandarizar los procesos del área de planeamiento siguiendo el enfoque Seis Sigma promoviendo el trabajo colaborativo de todos los miembros del equipo a través de la formación de comités.

- **Desarrollo de marco de trabajo para la gestión de inventario de repuestos**, que combine un modelo de proyección de demanda, un modelo de clasificación/priorización de repuestos y un modelo de simulación para el cálculo de la política óptima de stock de seguridad y manejo de inventario para cada ítem. A través de este modelo, el gerente de planeamiento de repuestos y servicios tendrá un mejor panorama de cuales repuestos necesita adquirir para una fecha y a través de eso poder negociar por mejores costos y ahorros en envío, así como mejorar los niveles de servicio con sus clientes.

Tabla 9: Criterios FACTIS

Criterios de Selección			Factor de Ponderación
F	Facilidad de Implementación		1
	1: Muy Difícil	3: Difícil	
A	Afecta a otras áreas su implementación		6
	1: Si	3: Medio	
C	Mejoramiento de la calidad		5
	1: Poco	3: Medio	
T	Tiempo que implica implementarlo		4
	1: Largo Plazo	3: Mediano Plazo	
I	Inversión requerida		4
	1: Alta	3: Medio	
S	Nivel de seguridad en el servicio		3
	1: Poco	3: Medio	

Tabla 10: Matriz FACTIS

Contramedidas	F	A	C	T	I	S	Total
Capacitación y programas de Soporte	3	3	3	3	1	5	67
Adquisición de sistema integrado	1	3	5	1	1	5	67
Framework gestión de inventario de repuestos	3	3	5	5	5	3	95
Herramienta DMAIC	1	3	3	3	3	5	73

A través de lo que se observa en la Tabla 12, se concluye que la mejora del proceso en cuestión será realizada a través de la formulación de un marco de trabajo para la gestión de inventario de repuestos.

Como se mencionó anteriormente este sistema, combinara diversos modelos en busca de una gestión de inventario de repuestos optima. Asimismo, se realizará una evaluación económica de la implementación de este modelo para evaluar su viabilidad económica y los ahorros que puede generar a la empresa a un corto, mediano y largo plazo.



Capítulo 2 :Propuesta de mejora

Para el diseño de la siguiente propuesta de mejora se han analizado los datos de una empresa de alquiler y venta de montacargas para el periodo de Julio 2019 a Marzo del 2020. Esta investigación se desarrolla bajo el ámbito de aplicación de modelamiento matemático para la optimización de un inventario de repuestos. La propuesta de mejora se enfoca en la optimización a nivel cuantitativo de la gestión de inventario.

En este capítulo, se desarrollará una descripción breve del método actualmente utilizado para el cálculo de los pronósticos de la demanda de repuestos, la clasificación de inventarios y su política de gestión empleada. Posterior a eso, se describirá el marco de trabajo propuesto como alternativa de mejora frente al sistema actual y su impacto a nivel de costos y de nivel de servicio.

Nuestra propuesta de mejora tomará como base el marco de trabajo desarrollado por Hu, Boylan, Chen, & Labib (2018) para el manejo de inventario de repuestos, pero se caracterizará por el uso de técnicas basadas en la minería de datos y el aprendizaje de máquina para el desarrollo y soporte de este.

2.1 Recopilación de datos

Para la realización de nuestra propuesta de mejora, se necesitó recopilar datos del uso de las maquinas montacargas. Para medir el uso de las máquinas, se tiene instalado, un dispositivo horómetro en cada una de las máquinas. Los técnicos se encargan de observar de manera mensual el valor que indican el horómetro y lo registran en una tabla que es utilizada para determinar la necesidad de mantenimiento para cada una de las máquinas. Se tienen los datos de Junio 2019 a Marzo de 2020 de los horómetros de 300 maquinas en alquiler. En la Tabla 11 podemos observar los datos de horómetro para las máquinas de Junio 2019 a Enero 2020 para 7 de estas y su promedio de uso.

Tabla 11: Horómetros 2019-2020

Serie	HOROMETROS 2019							HOROMETROS 2020	
	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	PROMEDIO
D435T05182R	5278	5775	6435	7056	7629	8193	8680	9418	518
D435T05250R	2923	3110	3110	5061	5171	5380	5591	5856	367
D222E01914R	7520	8198	8699	9164	9645	10018	10441	10441	365
D214E01843P	12460	12686	13261	13719	14183	14544	14969	15326	358
D435T05399S	3823	4093	4559	5065	5476	5798	6107	6526	338
D435T05368S	3873	4253	4690	5059	5447	5817	6146	6524	331
D466R03961R	293.6	386.2	867	-	1830	2118	2476.3	2894	325

Asimismo, se extrajo el plan de mantenimiento de cada máquina con la intención futura de calcular el

requerimiento de materiales para mantenimiento preventivo. Para cada tipo de maquina se tiene programada mantenimiento cada 250h o 500h dependiendo si es motor eléctrico o a combustión. En la Tabla 12 se muestra el plan de mantenimiento para la maquina P2.0SA

Tabla 12: Plan de Mantenimiento

MODELO	DESCRIPCION	CANT.	250 HRAS	500 HRAS	1000 HRAS	2000 HRAS
P2.0SA	RESPIRADERO HIDRAULICO	1				X
P2.0SA	ACEITE HIDRAULICO	5				X
P2.0SA	DESENGRASANTE	1	X	X	X	X
P2.0SA	LIMPIADOR DE FRENOS	1	X	X	X	X
P2.0SA	LIMPIA CONTACTOS	1	X	X	X	X
P2.0SA	GRASA EP2	1	X	X	X	X

De la misma manera, se vio necesario extraer una foto del inventario actual. Para el presente estudio se utilizará como estado inicial, las cantidades en inventario para cada repuesto a inicios del mes de Abril. Es necesario resaltar que la empresa tiene actualmente algunos problemas de discordancia entre el inventario virtual y real. Sin embargo, esta distorsión de los datos solo es en algunos productos menores. Esta foto del inventario nos dará un panorama de la situación actual producto de las políticas de gestión de inventarios utilizadas. En la Tabla 13 podemos observar el stock actual para 6 de los cerca de 2000 tipos de repuestos que maneja la compañía.

Tabla 13: Inventario Actual

Descripción	Periodo	Stock inicial	Entrada / Salida	Stock de cierre	Valor final
BATERIA INDUSTRIAL 36VC 972AH 18 CELDAS	31/03/20	2	-1	1	14915.89
RUEDA	31/03/20	8	0	8	425.28
TAPON DEL RADIADOR	31/03/20	1	0	1	10.07
RUEDA	31/03/20	1	0	1	178.92
FILTRO LINEA DE COMBUSTIBLE (EX-4617767)	31/03/20	38	-18	20	267.8
INTERRUPTOR	31/03/20	4	0	4	296.2

Asimismo, debido a que la empresa registra ventas de repuestos, como de mantenimientos fuera de los de garantía, se extrajo la historia clínica de la empresa para conocer el movimiento de los insumos y

órdenes de trabajo. En la Tabla 14 se ve un extracto de los registros de órdenes.

Tabla 14: Historia Clínica

Clase Orden PM	Operación	Fecha entrada	Cantidad de pedido	Número de material	Producto
ZMP2	MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE 1000 HRS	4/07/2019	2	3000000015	LIMPIADOR DE FRENOS Y PIEZA WURTH 500ML
ZMP2	MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE 1000 HRS	4/07/2019	1	2000000346	RESPIRADERO TANQUE HIDRAULICO
ZMP2	MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE 1000 HRS	4/07/2019	1	2000002553	VARILLA GRADUADA Y RESPIRA TRANSMISION
ZMP2	MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE 1000 HRS	4/07/2019	1	2000002445	HYDRAULIC
ZMP2	MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE 1000 HRS	4/07/2019	1	2000000688	FILTRO DE ACEITE DE MOTOR

Por último, se extrajo un resumen de las maquinas en alquiler y técnicos disponibles, lo cual nos dará las restricciones de capacidad para generar una política de distribución de técnicos óptima para la compañía y de esa manera pueda usar de manera eficiente su recurso humano.

2.2 Análisis de Datos

El análisis exploratorio de los datos es un paso crucial en nuestro proceso de conseguir una mejora en el sistema actual. A través del análisis de datos es posible realizar un diagnóstico de la situación actual de la empresa. Asimismo, a través de este análisis, podremos determinar los supuestos a considerar y seleccionar las variables de características importantes que se utilizarán en nuestro modelo.

2.2.1 Análisis de la Demanda

Podemos clasificar la demanda de la empresa en estudio en dos tipos de demanda. La demanda propia de los mantenimientos preventivos y la demanda destinada a los mantenimientos no preventivos y ventas. La demanda de los mantenimientos preventivos se puede considerar como determinística ya que está basada en los tipos de maquina y su uso en horas. Como se puede observar en la Figura 24, el consumo de horas de las maquinas es lineal.

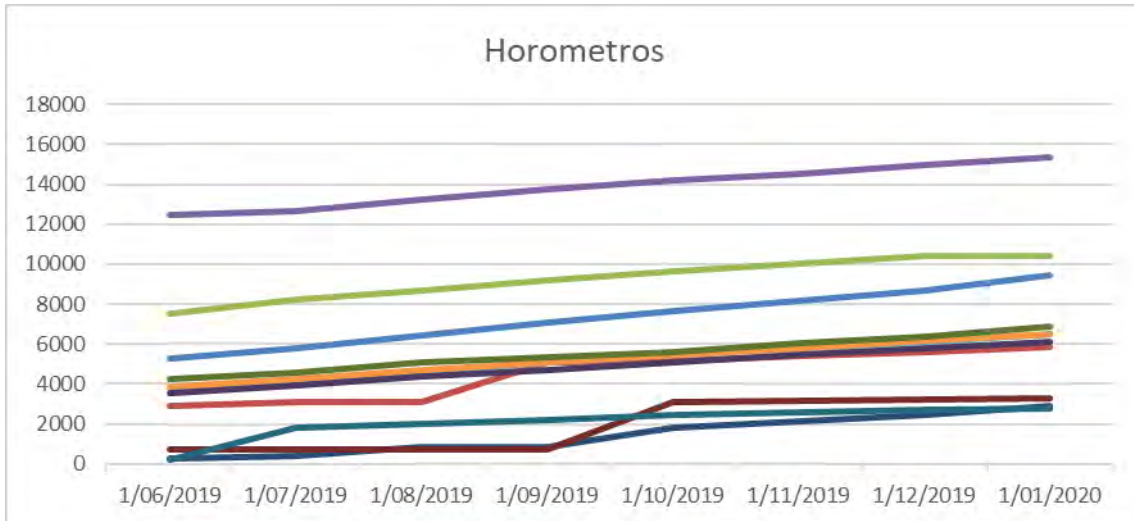


Figura 24: Horómetros
Fuente: Eurolift

Debido a este comportamiento lineal en el consumo de horas de cada máquina. La demanda de este tipo se puede modelar como la combinación lineal de la cantidad de número de máquinas para intervalos definidos por la cartilla de mantenimientos. Que en caso de las máquinas eléctricas se da en intervalos de 250 y en las máquinas de combustión de 500. Esto nos permite realizar un pronóstico de tipo causal con un alto grado de precisión como se observa en la Figura 25.

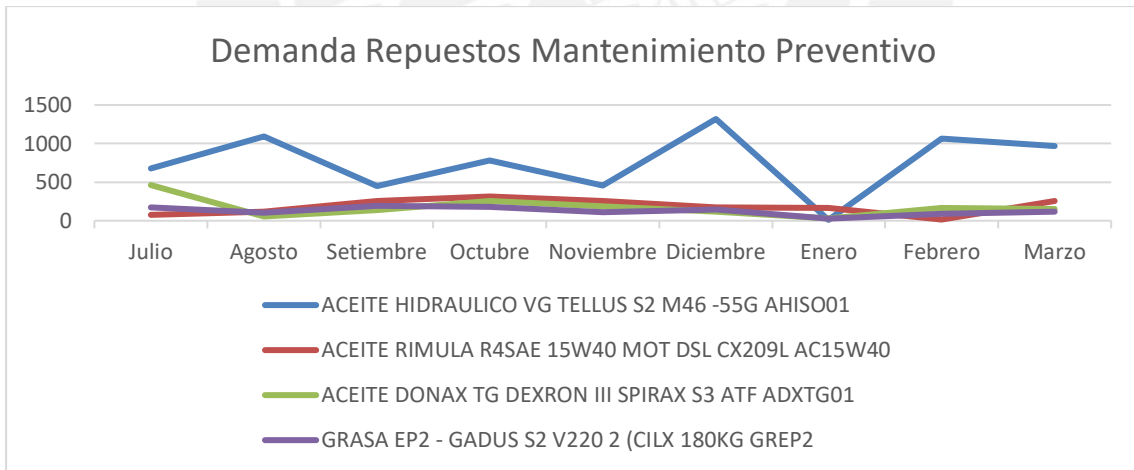


Figura 25: Demanda Repuestos Mantenimiento Preventivo
Fuente: Eurolift

En el caso de la demanda que corresponde los servicios de mantenimiento fuera de los preventivos y la demanda propia de la venta de repuestos, se observa en la Figura 26 que los datos tienen un comportamiento estocástico e intermitente. Lo cual dificulta el proceso de pronóstico de estos y por ende la determinación de una política de gestión para mantener los niveles de servicio y costos a niveles óptimos. En capítulos posteriores, explicaremos el tratamiento que se seguirá para estos elementos cuya

demanda es como se muestra en la figura a continuación.

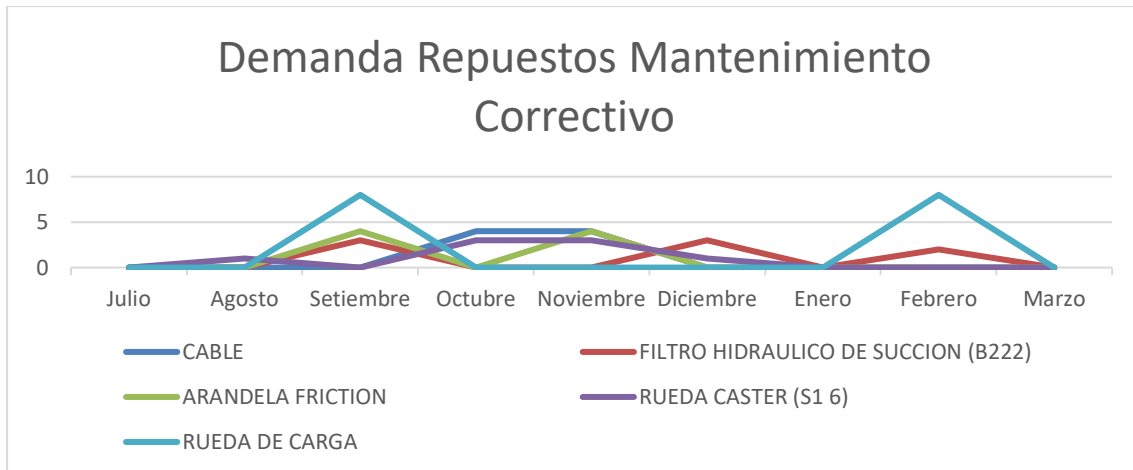


Figura 26: Demanda Repuestos Mantenimiento Correctivo
Fuente: Eurolift

2.2.2 Análisis de Gestión Actual

A través de los datos, es posible realizar un diagnóstico del estado de salud de los inventarios producto de la gestión actual existente. Según el marco trabajo desarrollado por Hu, Boylan, Chen, & Labib (2018), la empresa se encuentra actualmente entrando a la etapa 2 del ciclo de vida de los inventarios de repuestos como se observa en la Figura 27.

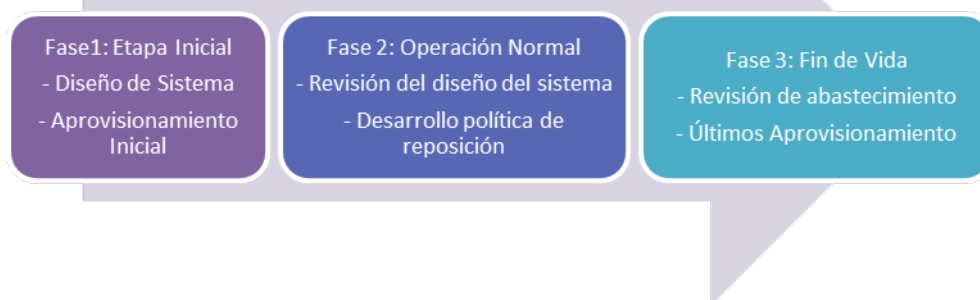


Figura 27: Ciclo de Vida-Inventario de Repuestos
Fuente: Elaboración Propia

Debido a que en la etapa 1, no se contó un con un sistema inicial definido y la falta de sistemas de recolección de información como la capacitación de los operarios en el uso adecuado de estos, el traspaso a la fase 2 se vio complicado y conllevó algunos problemas propios de la etapa 1. La data

histórica con la que cuenta actualmente la empresa data de mediados del año 2019, fecha en la cual se establecieron estándares para la recolección de esta. Sin embargo, los operarios al no estar del todo capacitados cometían errores al momento de ingresar estos datos. Por lo cual, la propuesta de mejora a desarrollar en este capítulo abarcara parte de la fase 1 y 2 del marco de trabajo desarrollado por Hu, Boylan, Chen, & Labib (2018) y se apoyara en las técnicas de Investigación de Operaciones y Aprendizaje de Maquina. En la Figura 28 podemos observar el marco de trabajo propuesto como mejora al sistema de gestión de inventarios actual.



Figura 28: Modelo Propuesto de Gestión de Inventarios

Fuente: Elaboración Propia

2.3 Supuestos del modelo

Para el desarrollo de nuestro modelo se trabajarán bajo los siguientes supuestos. La existencia de estos supuestos es necesaria para restringir la complejidad del modelo a desarrollar a un modelo que puede ser insertado y replicado en industrias similares a la desarrollada en este trabajo.

- **Demanda:** La demanda de cada repuesto o SKU a analizar se asumirá estocástica. En el caso de los repuestos para mantenimiento preventivo, esta demanda será conocida y para los repuestos de mantenimiento correctivo, desconocida. El modelo trabajara con demandas del tipo continua y discreta, dependiendo de la magnitud de la demanda de cada SKU.
- **Tiempo de Entrega:** Se hará una simplificación de tiempos de entrega para que estos sean

constantes y determinísticos.

- **Dependencia de SKUs:** La demanda de todos los SKUs es independiente de cada uno de los productos. En el caso de los repuestos necesarios para el mantenimiento preventivo específico de un vehículo, a pesar de estar estos vinculados, para facilidad de cálculo y análisis, se asumirá independencia. En el caso de mantenimiento correctivo, la interdependencia de SKUs, es más notoria.
- **Periodo de Revisión:** Dada la política de inventario a utilizar, nuestro periodo de revisión va a ser del tipo continua. Cuando la posición de inventario, este debajo del punto de reorden, se lanzará una orden.
- **Numero de Locaciones:** Todo el inventario, está localizado en un punto, del cual se distribuye a las diversas empresas ubicadas alrededor del país.
- **Capacidad:** La capacidad del almacén es infinita. No se tiene restricciones a nivel de volumen o presupuestales.
- **Descuentos por volumen:** Para la simulación y determinación de los parámetros óptimos del modelo, no se considerará la existencia de algún tipo de volumen. Sin embargo, se implementará de manera analítica el procedimiento a realizar en caso existan descuentos del tipo incremental, única vez o por total de unidades.
- **Exceso de demanda:** En el caso de mantenimiento preventivo, la demanda que no se satisface en un periodo, no se pierde, sino que se busca satisfacer en el periodo próximo más cercano. Esto debido a las condiciones establecidas en el contrato de mantenimiento preventivo.
- **Carácter Perecedero :** A pesar de que el inventario a analizar sea de repuestos, se considerará que los productos no son perecederos en el intervalo de tiempo a analizar.
- **Horizonte de Planeamiento:** La política de planeamiento a plantear será a largo plazo; sin embargo, la simulación se correrá en un tiempo finito hasta lograr la estabilización del modelo.
- **Numero de SKUs:** Se analizará la totalidad de SKUs con al menos un punto de historia en el último año.

2.4 Descripción del modelo

El modelo a desarrollar consistirá en 4 etapas: Clasificación Multicriterio, Pronóstico de demanda,

Simulación y Optimización. Cada una de estas etapas tendrá un modelo, que alimentará al proceso siguiente. En la Figura 29, se puede observar el esquema general del ensamble de estas 4 etapas.

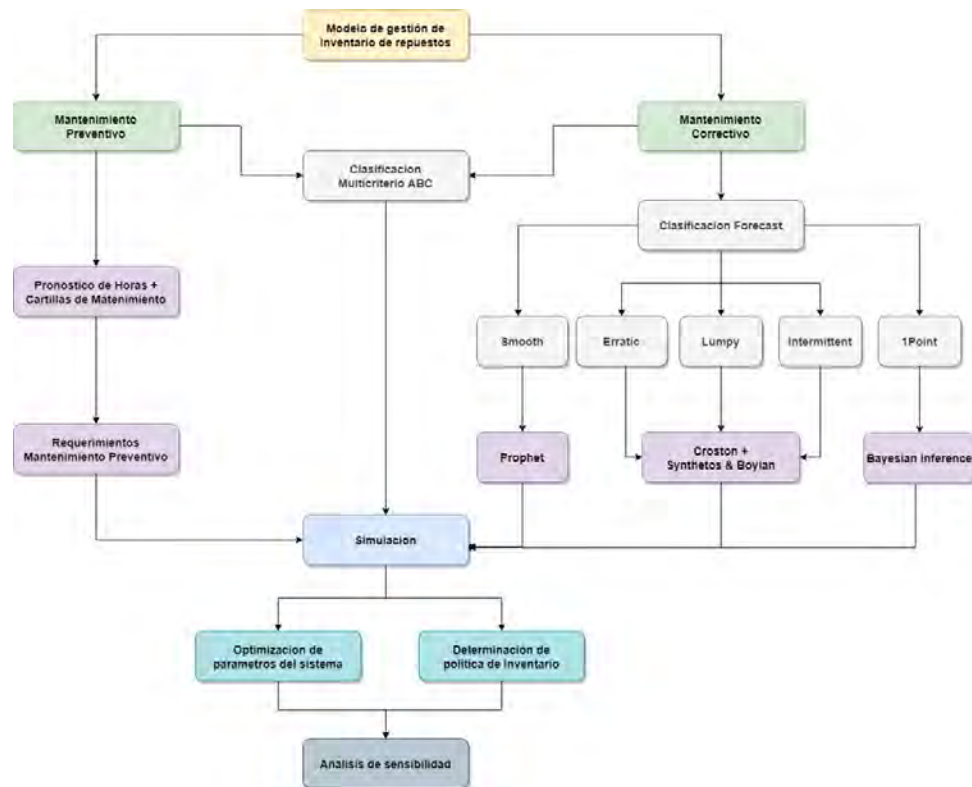


Figura 29: Estructura del modelo planteado

Fuente: Elaboración Propia

2.5 Modelo de gestión de Inventario de Repuestos

El marco de trabajo para la gestión de inventario de repuestos propuesto como alternativa de mejora para la empresa en estudio se caracteriza por el uso de tópicos avanzados de estadística, minería de datos, simulación y optimización. En las siguientes líneas, se describirá la construcción y el modelamiento matemático de cada una de las etapas

2.5.1 Clasificación de Control de Inventarios

La primera fase del marco de trabajo planteado consiste en la realización de una clasificación multicriterio de los productos actuales. Esto con el fin de determinar que repuestos son más importantes que otros y cuales requieren de una mayor atención. Debido a temas contractuales un factor importante para la clasificación de los repuestos es si estos corresponden a la realización de un mantenimiento preventivo o no. Asimismo, factores relevantes para la realización de esta clasificación, son el costo individual de los productos, su demanda total y el volumen de inventario actual que poseen.

Para la clasificación de los ítems se seguirán dos pasos. En primer lugar, se separarán los SKUs dependiendo si son para mantenimiento preventivo o correctivo para posteriormente aplicar un modelo de clasificación único a cada uno de estos grupos.

- **Ítems A/B:** Existen básicamente dos tipos de repuestos que se encuentran en esta categoría. Aquellos con gran demanda, pero baratos (*fast movers*) y aquellos con baja demanda, pero con costos elevados (*slow movers*). Para modelar la demanda, en la literatura se sugiere el uso de Distribución Normal o Gamma para el caso de los productos *fast movers* y para los *slow movers* se recomienda utilizar la distribución de Poisson.
- **Ítems C:** Los artículos de clase C tienen valores de demanda y costo bajos, pero comprenden la mayor parte de las SKU. El objetivo al elaborar un sistema de gestión para estos productos es de minimizar la atención de la gerencia frente a estos productos. Independientemente de la política que se aplique a este grupo de productos. Los ahorros no serán significativos para la empresa. Dicho esto, lo idea es diseñar reglas simples para seguir y explorar oportunidades para reducir el inventario. Un punto de inicio para poder realizar esto, es observar el ratio de inventario actual/demanda, con esto podremos saber para cuan horizonte de tiempo vamos a tener disponibilidad de cierto producto. Si se observa que es mayor a “n” años, entonces es un buen indicio para deshacerse de ese producto.

Nuestro primer paso, para la mejora en la gestión de inventarios, es la clasificación de SKUs basado en los requerimientos de la empresa. El método tradicional de clasificación de inventarios es el ABC; sin embargo, este solo se centra en los costos o ingresos. En el caso de inventarios de repuestos, un solo criterio no es suficiente, porque en el caso de estos elementos no es solo necesario dar prioridad en el inventario a aquellos que nos generan una mayor cantidad de ingresos, sino que también es importante asegurar la disponibilidad de estos para que el cliente pueda recibir a tiempo el servicio o producto adquirido.

Debido a esto, se propone, como propuesta de mejora, utilizar un modelo multicriterio de clasificación de inventarios. Se tiene conocimiento que estos modelos ofrecen un mejor performance a medida que consideran más parámetros. Sin embargo, a mayor cantidad de parámetros, se vuelve más complicado la determinación de una estrategia optima.

Para nuestro marco de trabajo propuesto, se analizarán dos indicadores: inventario actual valorizado en soles y meses de inventario disponibles. En la Figura 30 podemos observar que se cumple el principio de Pareto para el inventario valorizado en soles. En la Tabla 15, podemos observar que alrededor del 15% del total de productos, representan el 80% del valor de inventario actual.

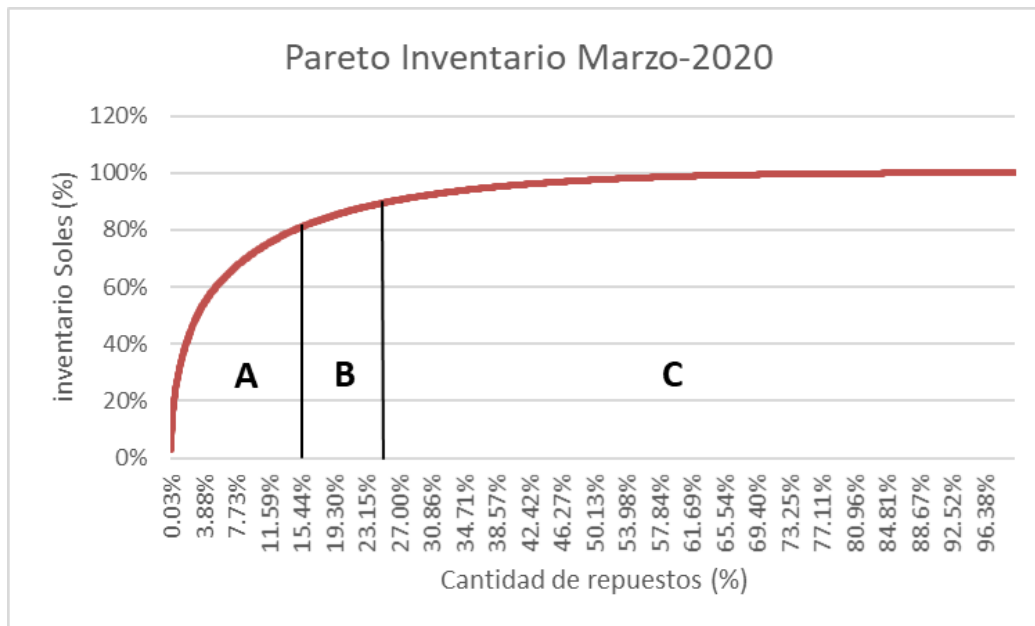


Figura 30: Pareto Inventario

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 15: Clasificación ABC Inventario(S/.)

Clasificación	Inventario(S/)	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje
A	3,537,109.96	80%	573	15%
B	664,086.12	15%	923	24%
C	221,377.82	5%	2422	62%

Para analizar los meses de inventario disponibles, se harán uso de la demanda proyectada. Para proyectar la demanda se hace uso de las técnicas explicadas en apartados posteriores. Teniendo estos datos calculamos, la demanda promedio mensual y con eso los meses de demanda que se pueden abastecer con el inventario que se tiene actualmente en posesión y se clasifica en 3 grupos como se observa en la Tabla 16. Para poder realizar esta clasificación y comparar entre los diversos productos se toma en consideración la demanda actual de cada producto frente a su inventario. De esa manera logramos estandarizar en una unidad comparable para todos los productos que son meses de inventario. La clasificación C, corresponde a los productos que en el último año y medio de historia no han tenido ningún registro y por lo cual su demanda proyectada es cero. Para la clasificación A y B se ha tomado como límite 12 meses de inventario, dado que ese es nuestro escenario de análisis para la planificación de la demanda y realización de compras que actualmente maneja la empresa.

En la matriz multicriterio ABC que se muestra en la Figura 36, se expresa la estrategia que se debe tomar para cada cuadrante considerando los dos factores Nivel de Inventario y Consumo, que es

inversamente proporcional a los meses de inventario calculados para cada producto.

Tabla 16: Clasificación Meses de Inventario

Clasificación	Meses de Inventario
A	≤ 12
B	> 12
C	Infinito

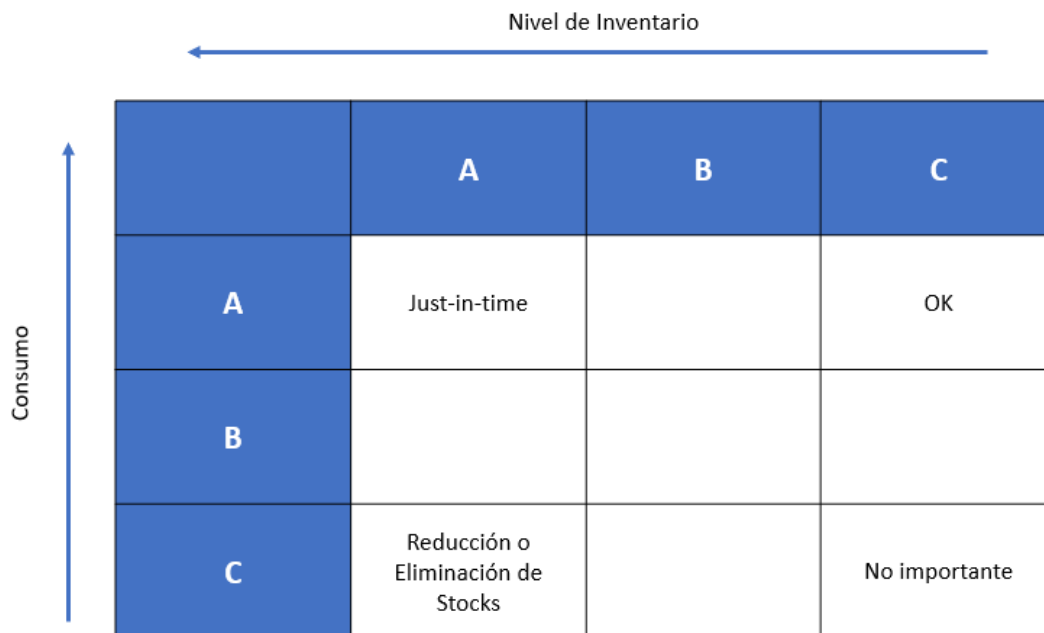


Figura 31: Matriz multicriterio ABC (Consumo-Nivel de Inventario)

Fuente: Elaboración Propia

La matriz multicriterio ABC, que se observa en la Figura 32, expresa la estrategia óptima correspondiente para cada cuadrante. Por ejemplo, para un producto de consumo de clase C, pero con nivel de Inventario A, es necesario buscar la forma de eliminar o reducir su stock, ya que representan un costo de oportunidad perdido de la empresa. Dicho costo de oportunidad está fuertemente relacionado con el costo de capital que maneja la empresa.

Analizando la matriz multicriterio ABC expresada en costos en la Figura 32, se puede observar que existe alrededor de 2.7 millones de soles de inventario de repuestos que no han tenido movimiento o es mínimo comparado a la cantidad de stock que posee actualmente. Estos elementos, a su vez son de los más costosos y de mayor volumen que posee la empresa. Una de las primeras alternativas de mejora por las que debería optar la empresa es orientar al equipo de ventas a liquidar parte de dicho stock.

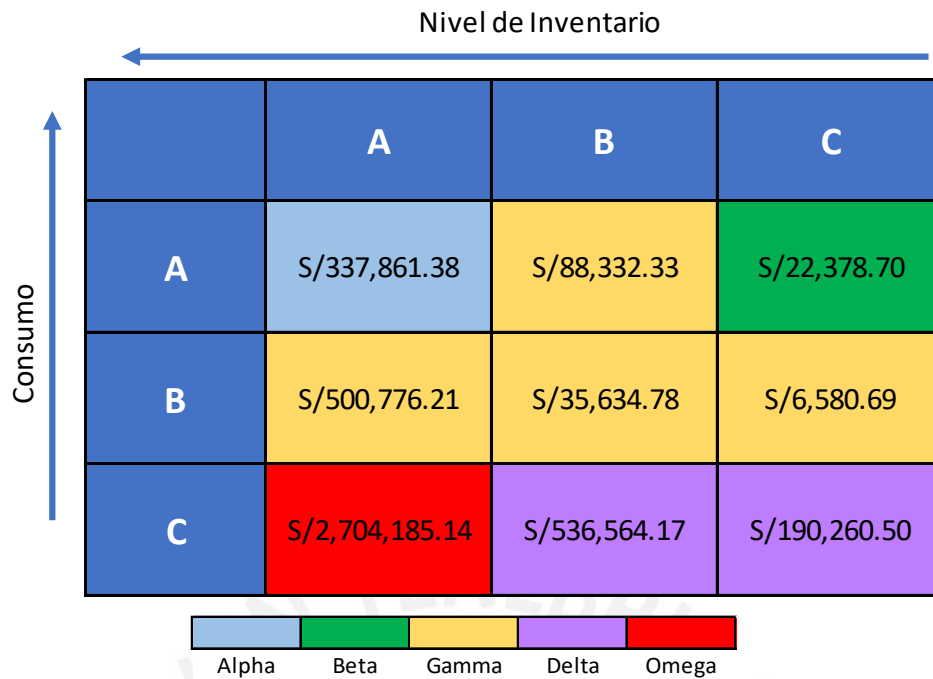


Figura 32: Matriz multicriterio ABC (S/.)

Fuente: Elaboración Propia

Para poder realizar la simulación de las políticas de inventarios es necesario conocer las características de cada repuestos y para eso utilizaremos como base la matriz multicriterio. Basándonos en la matriz de estrategias, detallada en la Figura 31, se crean 5 grupos de interés a analizar alpha, beta, delta, gamma y omega, de ahora en adelante llamada clasificación Alfa-Omega. Esta nueva clasificación, como se observa en la Figura 31, agrupa las divisiones generadas en la matriz de la clasificación multicriterio en función a su cercanía. Esta cercanía de los cuadrantes es asociada a una similitud de sus características.

Tabla 17: Clasificación Actual a Nueva

Clasificación Actual	Clasificación Nueva	Clasificación Actual	Clasificación Nueva
AA	alpha	BC	gamma
AB	gamma/beta	CA	omega
AC	beta	CB	delta
BA	gamma	CC	delta
BB	gamma		

En la Tabla 17, se observa la transición de la clasificación multicriterio ABC a la nueva clasificación Alfa-Omega. Esta nueva clasificación con el fin de reducir la cantidad de divisiones, manteniendo grupos que compartan características similares. Esta clasificación es necesaria para poder analizar y determinar la política a simular para cada tipo de repuesto. En el caso de la división AB, la clasificación

puede variar entre gamma o beta, de acuerdo con la estrategia que tome la empresa. Para el presente estudio, se optó por clasificar la categoría AB como gamma. En la Tabla 18 podemos ver el nivel inventario actual de soles para cada clasificación y en la Tabla 18 la cantidad de repuestos. Como se observa en dichas tablas, el grupo delta y omega son los más numerosos y solo incluyen repuestos del tipo correctivo a diferencia de alpha, beta y gamma. Asimismo, a nivel de costos, las clasificaciones delta y omega son las que dominan a las demás clases. Estos niveles de inventario alto nos indican que la estrategia se va a centrar en reducir el nivel de inventario de estos productos ya que su rotación es nula y significan un costo de oportunidad perdido para la empresa.

Tabla 18: Clasificación alpha-omega (S/.)

Clasificación	Correctivo	Preventivo
alpha	S/298,430.46	S/39,430.92
beta	S/18,103.53	S/4,275.17
delta	S/726,824.67	S/ -
gamma	S/584,247.50	S/47,076.51
omega	S/2,704,185.14	S/ -

Tabla 19 Clasificación Alpha-omega (Cantidad de SKUs)

Clasificación	Correctivo	Preventivo
alpha	53	21
beta	156	32
delta	2911	0
gamma	242	51
omega	452	0

En la Tabla 20 se resume la política de inventario propuesta para cada uno de los grupos de la nueva clasificación. Se hace la diferencia entre preventivo y correctivo ya que la demanda para el preventivo es de tipo determinística y para el tipo correctivo, la demanda es estocástica. Para la selección de las políticas de inventario en cada clasificación, en caso de un SKU tenga demanda en el mantenimiento preventivo y continuo, se le asignara una política de inventario del tipo continuo para dar flexibilidad de poder cubrir siempre con la demanda a tiempo. En el caso de los productos que solo cuenten con mantenimiento correctivo, se dará preferencia a políticas del tipo periódico. Esto con el fin de reducir la carga del encargado de planeamiento al gestionar la gran cantidad de repuestos existente, sin poner en compensación una reducción del nivel de servicio o utilidad.

Tabla 20: Políticas de Inventario

Clasificación	Correctivo	Preventivo
alpha	(R, S)	(s, Q)
beta	(R, S) / (R,S, s)	(s, Q)
delta	(R,S, s)	-
gamma	(R,S, s)	(s, S) / (s, Q)
omega	MTO	-

2.5.2 Clasificación para pronóstico de Inventarios

En la actualidad, no se realizan pronósticos para los repuestos del tipo correctivo. Debido a que los inventarios de repuestos se caracterizan por ser complejos para el pronóstico, es necesario hacer una clasificación inicial de estos a estos de acuerdo con el comportamiento de los datos de su demanda. Siguiendo lo planteado por Syntetos, Boylan, & Croston (2005), se puede clasificar a los patrones de demanda teniendo en cuenta dos criterios que son el coeficiente de variación(CV) y la demanda promedio entre intervalos (AID). El CV variación se calcula a partir de los puntos de la demanda y el AID a partir de el tiempo entre dos puntos de la demanda que sean diferentes de cero. Para todos los repuestos que no sean del tipo preventivo, se procedió a realizar este cálculo. Basado en los valores que se obtuvieron, se clasificaron los repuestos en 4 categorías:

- Lumpy: Si el CV^2 es mayor a 0.49 y el AID mayor a 1.32
- Erratic: Si el CV^2 es mayor a 0.49 y el AID mayor a 1.32
- Smooth: Si el CV^2 es mayor a 0.49 y el AID mayor a 1.32
- Intermittent: Si el CV^2 es mayor a 0.49 y el AID mayor a 1.32

Asimismo, se creó la categoría 1Point para los elementos que solo tenían un punto de demanda en su historia. La cantidad de elementos para cada clasificación se muestra en la Tabla 21.

Tabla 21: Clasificación Pronostico

Smooth	Erratic	Intermittent	Lumpy	1Point
4	17	272	97	725

Como se observa en la Figura 33, la mayor cantidad de productos se encuentra en el borde la división entre categorías. Observamos que los datos se encuentran alineados a nivel horizontal, esto debido a que solo se tiene un año de historia. La clasificación para pronósticos realizada no es precisa en su totalidad, pero nos da un punto de inicio recomendable para la proyección de la demanda.

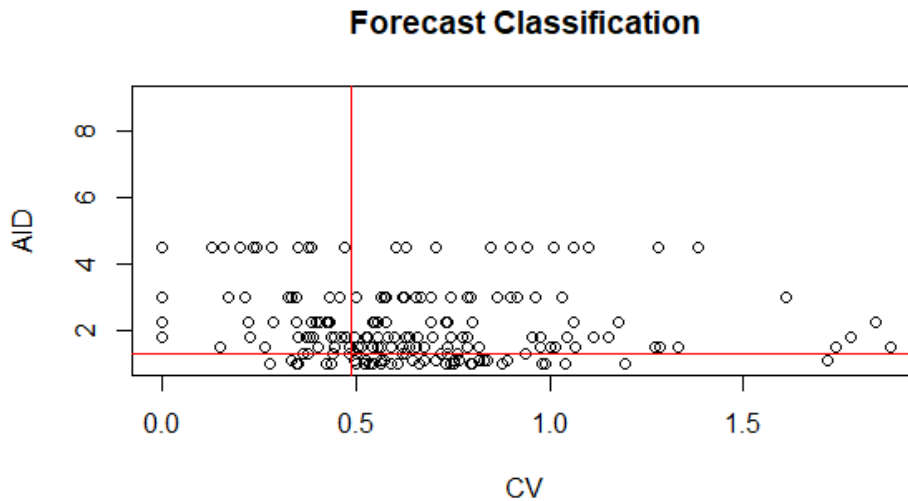


Figura 33: Clasificación para pronóstico de Inventarios

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la Figura 34, a diferencia de lo planteado por lo planteado por Heinecke, Syntetos, & Wang (2013), la propuesta de mejora a desarrollar utilizara el modelo de Prophet en el caso de los repuestos del tipo Smooth y para los repuestos del tipo Intermittent utilizara el modelo de Croston. Por otro lado, para los productos Lumpy/Erratic, como alternativa de mejora se propondra la utilizacion del modelo de Monte Carlo Markov Chain (MCMC) para usar como pronosticos una muestra de puntos de una distribucion poisson inferida, la cual conforme aumente nuestro conocimiento de los datos, se ira actualizando. Por ultimo para los 1Point se tomara de pronostico una muestra de puntos de una distribucion binomial o uniforme con probabilidad de aceptacion proporcional a la frecuencia historica de aparicion.

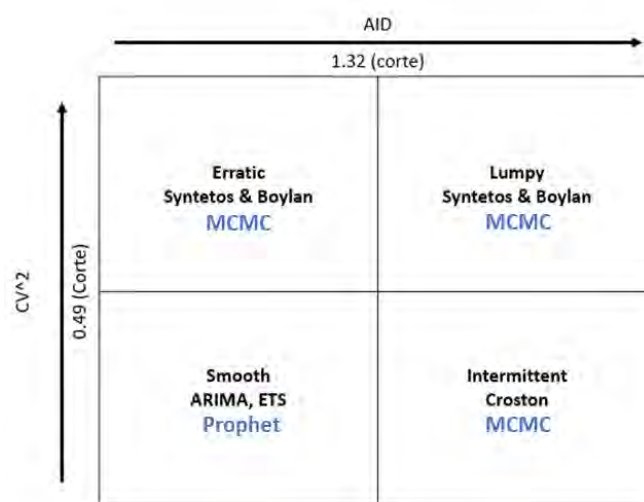


Figura 34: Pronósticos por cuadrante (AID-CV)

Fuente: Elaboración Propia

El actual valor de inventario para cada una de estas clasificaciones se muestra en la Tabla 22. Se observa que 1Point y Intermittent tienen el mayor porcentaje de valor de inventario en soles. Esto se relaciona con el hecho de que son las clasificaciones con mayor cantidad de elementos cuyo precio son a su vez mayores a los demás. Por lo explicado anteriormente, el desarrollo de una política de inventario óptima para los elementos de este tipo será uno de los focos principales de la propuesta de mejora ya que presentan una mayor oportunidad de mejora a través de la reducción de niveles de inventario.

Tabla 22: Valor de Inventario por clasificación

Clasificación	Valor (S/.)	Porcentaje
1Point	584975.03	72.21%
Intermittent	144929.38	17.89%
Lumpy	64447.62	7.96%
Erratic	14881.94	1.84%
Smooth	816.34	0.10%
Total	810050.31	100%

2.5.3 Pronostico

El segundo paso del marco de trabajo propuesto es la realización de pronósticos con el objetivo de conocer el comportamiento futuro de la demanda de los repuestos a analizar, lo que a su vez nos servirá para realizar la simulación y de esa manera poder determinar los parámetros óptimos de la política de inventarios. Debido a que la demanda a analizar es del tipo intermitente, la realización de pronósticos se torna compleja e imprecisa. Es por esta razón que se opta por el uso de distribuciones estadísticas conocidas y técnicas de pronóstico probabilístico que nos permitan lidiar con ese comportamiento intermitente.

Inferencia Bayesiana

Debido a la poca cantidad de datos que se posee para algunos productos en la categoría Lumpy o Intermittent como se observa en la Figura 35, se opta por realizar una inferencia bayesiana tomando como distribución a priori la distribución gamma con el objetivo de generar una distribución a posteriori de poisson con parámetro lambda. Estas distribuciones son elegidas ya que son conjugadas a priori, facilitando el cálculo analítico. El modelo de inferencia bayesiana se define de la siguiente manera.

$$\text{Prior: } \lambda | \alpha, \beta \sim \text{Gamma}(\alpha, \beta)$$

$$\text{Likelihood: } y_i | \lambda \sim \text{Poisson}(\lambda)$$

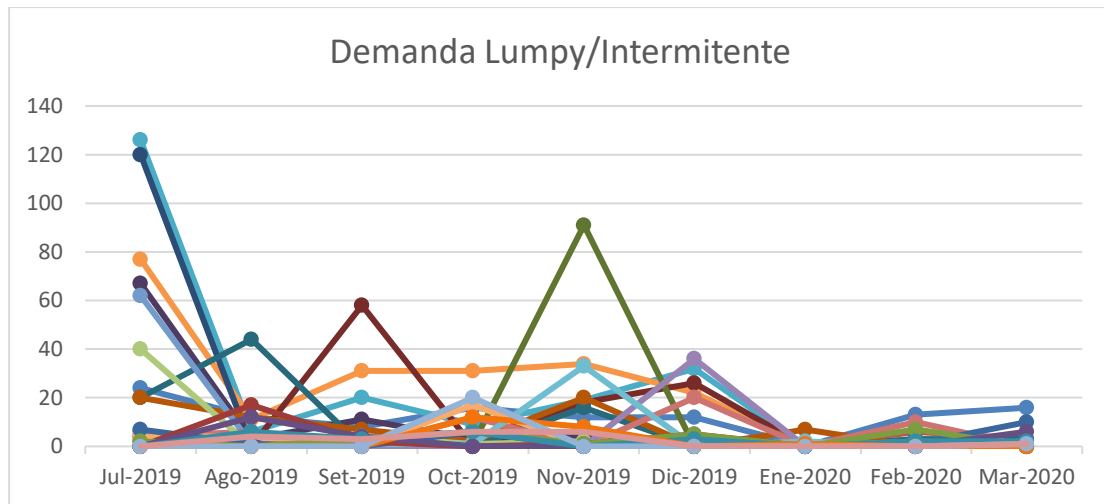


Figura 35: Demanda Lumpy/Intermitente
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 36, se definen los datos de entrada de nuestro modelo, los parámetros a priori a y b de la distribución lambda y la cantidad de datos N.

```

data {
  /* Hyperparameters*/
  real<lower=0> a;
  real<lower=0> b;

  /* Dimensions */
  int<lower=0> N;

  /* Outcome (a real vector of length n) */
  int<lower=0> y[N];
}

```

Figura 36: Inferencia Bayesiana (Datos)
Fuente: Elaboración Propia

Para nuestro modelo el parámetro a estimar es el parámetro de lambda de la distribución poisson a la que queremos ajustar nuestros datos. Este parámetro lambda se define en el dominio de los reales con límite inferior de 0 como se observa en la Figura 37.

```

parameters {
  real<lower=0> lambda;
}

```

Figura 37 Inferencia Bayesiana (Parámetros)
Fuente: Elaboración Propia

Por último, como se comentó en un inicio, el modelo de inferencia bayesiana se define como se observa en la Figura 38. La distribución a priori a tomar será gamma con parámetros a y b, definidos por el usuario de acuerdo con el comportamiento de los datos observados. Debido a que estamos usando el algoritmo de MCMC, se va a llegar a la convergencia independientemente de los valores iniciales de a, b por lo cual se le asigna un valor inicial de 0.01. La distribución a estimar será de Poisson. la cual facilitará la generación de muestras de datos para comprobar la eficiencia de la política de inventario y la optimización de sus parámetros.

```

model {
  /* Prior */
  /* Lambda ~ gamma(a, b); */
  /* Explicit contribution to target */
  target += gamma_lpdf(lambda | a, b);

  /* Likelihood */
  /* y ~ poisson(Lambda); */
  /* Explicit contribution to target */
  for (i in 1:N) {
    target += poisson_lpmf(y[i] | lambda);
  }
}

```

Figura 38: Inferencia Bayesiana (Modelo)
Fuente: Elaboración Propia

Se realizó la inferencia bayesiana a través del algoritmo de Hamiltonian MarkovChain MonteCarlo (MCMC). Para el repuesto analizado Filtro de Combustible (UTILEV), obtenemos la estimación del parámetro lambda que se observa en la Tabla 23. Como se observa en la Figura 39, las cadenas han llegado a convergencia.

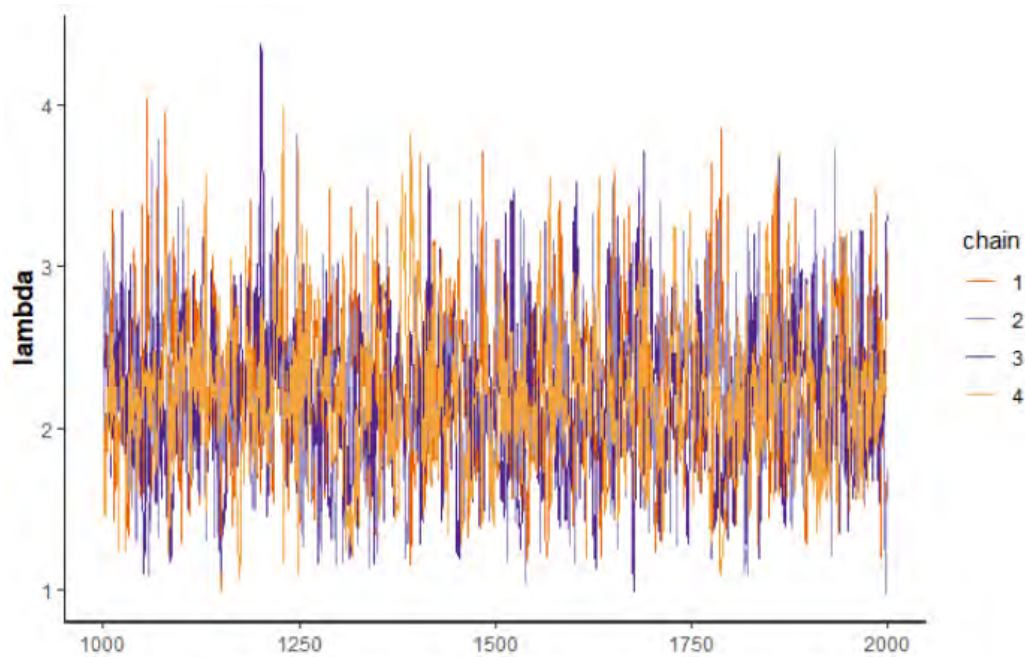


Figura 39: Convergencia MCMC
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 23: Estimación de parámetro lambda

Parámetro	Media	Desviación Estándar	2.50%	25%	50%	75%	97.50%
lambda	2.21	0.49	1.33	1.87	2.19	2.51	3.23

Croston / Synthethos Boylan

Para los productos con demanda intermitente, se opta por utilizar la técnica de pronóstico desarrollada con Croston, teniendo en cuenta el factor de ajuste propuesto por Synthethos Boylan para corregir el sesgo del estimador. En el grafico podemos ver nuestro pronóstico para el producto CINTILLO DE AMARRE DE 25. que solo tuvo dos puntos de historia el año pasado de magnitud 100 y 173 respectivamente como se observa en la Figura 40. Croston nos da pronostico siempre como línea recta, la ventaja de este tipo de modelos es que de acuerdo con el comportamiento de la demanda, el alto de la línea se va actualizando, lo cual resulta ideal para productos con demanda esporádica. Para fines de la simulación, se tomará la ocurrencia de la demanda como una distribución binomial o una distribución uniforme con una probabilidad de ocurrencia proporcional al histórico.

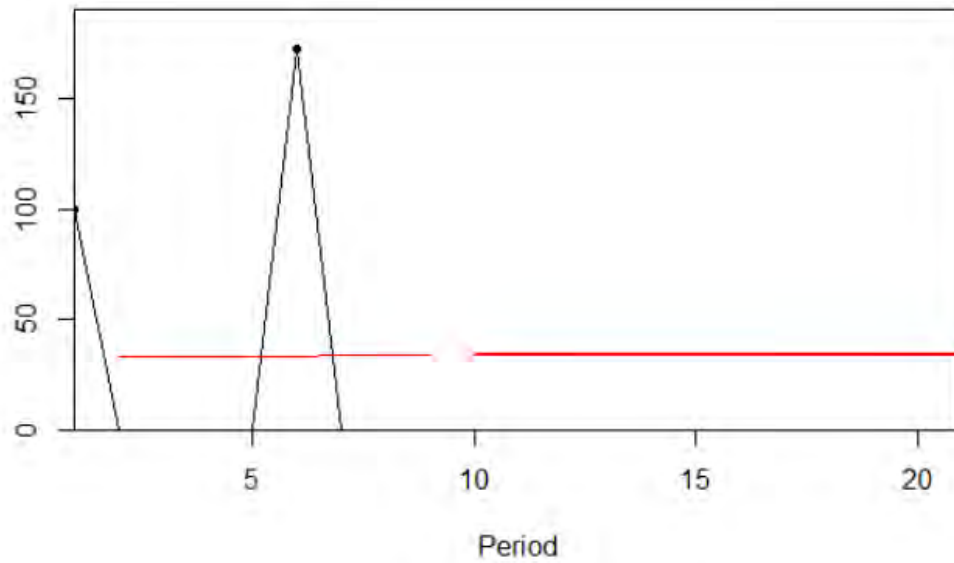


Figura 40: Pronostico Croston
Fuente: Elaboración Propia

Prophet

Para los productos Smooth que poseen demanda con baja fluctuación , se opta por utilizar la técnica de pronóstico desarrollada por Facebook, Prophet. La elección de este método frente a otros métodos estadísticos como los son ARIMA y ETS es debido a que Prophet es un método con un grado de automatización mayor construido sobre un modelo de inferencia bayesiana. No es necesario un ajuste de los parámetros como ARIMA y ETS para dar resultados con una bondad de ajuste optima. Asimismo destaca por poder capturar estacionalidades a nivel año, semanas y días. En la Figura 41, podemos observar el pronóstico con sus intervalos de confianza al 95% para el producto FILTRO DE AIRE CONICO.

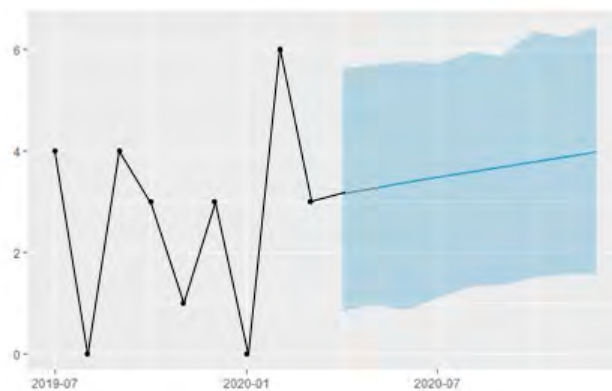


Figura 41: Pronostico Prophet
Fuente: Elaboración Propia

Para el caso en estudio, dado que nuestra cantidad de puntos históricos es baja, se limitará la tendencia de estos modelos y únicamente se trabajará con los intervalos de confianza. Es decir la demanda se simulará con una distribución normal con media dada por el modelo y varianza muestral del error.

2.5.4 Simulación

A través de la realización de la clasificación de los ítems, se determinará el tipo de política a inventario a utilizar. Sin embargo, para determinar si la política es correcta o no, se propone la utilización de simulación frente al uso de técnicas analíticas, debido a que esta última posee un grado de complejidad elevado cuando no se tiene como supuesto una demanda determinística o el uso de la distribución normal.

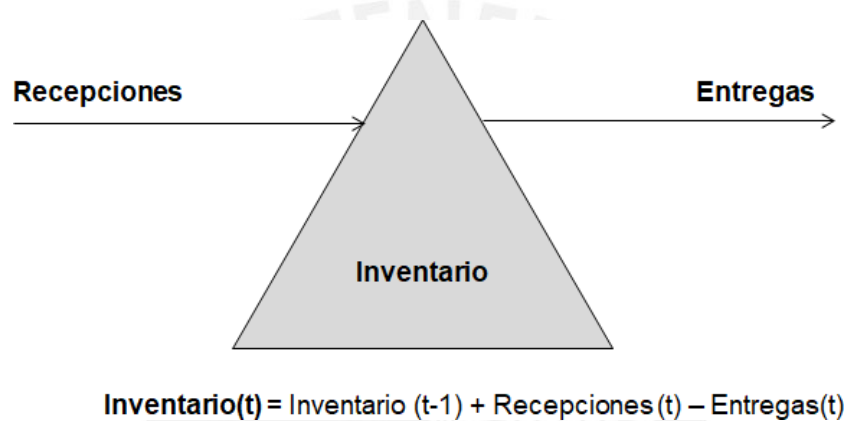


Figura 42: Flujo de Inventario
Fuente: Elaboración Propia

Nuestro modelo de simulación, resumido en la Figura 42, será alimentado por los pronósticos y distribuciones halladas en el modelo antecesor. Las ecuaciones a utilizar para realizar la simulación se explican a continuación.

Demanda (Demand)

$$\text{Demand}(t) = [\text{Pronósticos/Distribuciones}]$$

Stock de seguridad objetivo (TgtSS)

$$\text{TgtSS}(t) = [\text{Depende de nuestra política de inventario}]$$

Cantidad ordenada (QtyOrdered)

$$\text{QtyOrdered}(t) = \text{Max}(0, \text{SumOfFCoverLT}(t) + \text{Backlog}(t - 1) - \text{OnHand}(t - 1) - \text{OnOrder}(t - 1) + \text{TgtSS}(t))$$

Recepciones (Receipts)

$$\text{Receipts}(t) = \text{QtyOrdered}(t - LT)$$

Entregas (Shipments)

$$\text{Shipments}(t) = \text{Min}(\text{Demand}(t) + \text{Backlog}(t - 1), \text{OnHand}(t - 1) + \text{Receipts}(t))$$

Entregas a tiempo (OnTimeShipments)

$$\text{OnTimeShipments}(t) = \text{Max}(0, \text{Shipments}(t) - \text{Backlog}(t - 1))$$

Inventario en mano (OnHand)

$$\text{OnHand}(t) = \text{OnHand}(t - 1) + \text{Receipts}(t) - \text{Shipments}(t)$$

Inventario en reserva (Backlog)

$$\text{Backlog}(t) = \text{Backlog}(t - 1) + \text{Demand}(t) - \text{Shipments}(t)$$

Inventario en orden (OnOrder)

$$\text{OnOrder}(t) = \text{OnOrder}(t - 1) + \text{QtyOrdered}(t) - \text{Receipts}(t)$$

Se realizó la simulación a través del método de Montecarlo por un periodo de 52 semanas para el producto de mantenimiento preventivo DESENGRASANTE BASICO. Se realizaron 1000 corridas del modelo. El modelo fue desarrollado en el lenguaje de programación Python. Los resultados se muestran en la Tabla 24.

Tabla 24: Resultados Simulación Desengrasante Básico

Variable	Mínimo	Promedio	Máximo	Desviación Estándar
Inventario cierre	0	375	719	204
Cantidad Vendida	0	400	750	120
Backlog	-67	-4	0	12
Inventario Apertura	0	212	719	204
Nivel de servicio		91.67		

2.5.5 Optimización

Para encontrar los parámetros óptimos para nuestro modelo, dado una clasificación Alfa-Omega de los productos y una política de inventario de inventario definida inicialmente de acuerdo con los criterios de clasificación de productos, se hará uso del algoritmo de Optimización Bayesiana para encontrar los parámetros de dicha política que hacen máxima la utilidad obtenida en un periodo.

Para determinar el espacio de acción de los parámetros, se ha decidido tomar los límites proporcional a la demanda y al tiempo de entrega.

Dada las condiciones de simulación y naturaleza de los productos, es conveniente utilizar como función de adquisición la “mejora esperada” (*Expected improvement*). Esta función a diferencia de “probabilidad de mejora”, puede escapar de óptimos locales. Asimismo nos da un mejor intercambio entre la exploración y la explotación del espacio de parámetros.

2.6 Determinación política de inventario optima

Para determinar la política de Inventario óptima para cada repuesto es necesario poder responder las siguientes preguntas:

- ¿Es necesario mantener stock de este repuesto o no?
- ¿Cuántas copias del repuesto debo ordenar?
- ¿Cuántas copias debo mantener en stock?
- ¿Cuándo debo lanzar una orden?

Continuando con nuestro ejemplo para el SKU Desengrasante Básico, que es un repuesto del tipo preventivo que se ajusta a la política de inventario (s, Q) se determina que los parámetros óptimos para minimizar los costos de inventario son los que se muestran en la Tabla 25.

Tabla 25: Parámetros Óptimos (s, Q)

Parámetros Óptimos (Desengrasante Biodegradable)			
Orden Promedio	96	Inventario en exceso	0
Desviación Estándar	6	Ruptura de Inventario	0
Stock de Seguridad	10.82	Costo Unitario	36.5
Variación de la demanda	6.20%	Inventario actual	125
Nivel de reorden	146	Moneda	PEN
Cantidad Pedida	92	Total de ordenes	1148
Ingresos	57400	Backlog	0

2.7 Validación de resultados

Para realizar la validación de los resultado de la política de inventario elegida, se analizó un elemento representativo de cada grupo de la clasificación Alpha-Omega planteada. En la Tabla 26 podemos observar los productos elegidos para nuestro análisis.

Tabla 26: Productos para la validación de resultados

Clasificación	Tipo Mantenimiento	Descripción
Alpha	Preventivo	DESENGRASANTE BIODEGRADABLE
Beta	Preventivo	FILTRO DE ACEITE - COMPLETO
Gamma	Preventivo	REFRIGERANTE 50/50
Alpha	Correctivo	FILTRO HIDRAULICO DE SUCCION (B222)
Beta	Correctivo	LOAD RODAJE MASTIL TAPERED 6 9 MASTS
Gamma	Correctivo	BATERIA 13 PRO G24 A1 12VC 87 AH NOR
Delta	Correctivo	ANCLA DE CADENA
Omega	Correctivo	BATERIA EQUIPO J40XNT 48V 750 AH 6HPZS

Para cada uno de estos productos, se extrajo sus parámetros de planeamiento y financieros, los cuales nos permitirán realizar la simulación. Para el mantenimiento del tipo Preventivo, la política a utilizar será del tipo continua, debido a que el cumplimiento de estos productos a con el cliente es de vital importancia a la empresa, es necesario tener la flexibilidad de poder ordenar la compra de estos cuando sea necesario. Por otro lado, en el caso de los productos del tipo Correctivo, debido a que representan el mayor porcentaje de inventario y su exigencia no es alta en comparación a los del tipo preventivo, se optara por políticas de revisión periódica, con intervalos entre 4 semanas para los productos de mediana rotación y de 8 semanas para los productos de baja rotación.

En la tabla 27 se puede observar las políticas de inventario que se tomara para producto y la distribución de la demanda futura calculada a través de los métodos de pronósticos desarrollados. Se tiene 4 tipo de políticas (Qs, Ss, RS, RSs) y tres tipos de distribuciones para la demanda (normal, poisson y uniforme) las cuales están influenciadas por el ratio de probabilidad de que haya demanda o no en un periodo dado. En el caso del último producto, que corresponde a la categoría omega, dado que este tipo de productos nunca ha tenido rotación y su valor de inventario es alto, la política a aplicar será impulsar los canales de marketing y

ventas para lograr retirarlo de inventario y de esa manera recuperar el costo de oportunidad en el que incurren este tipo de repuestos.

Tabla 27: Política y Demanda de los productos a analizar

Descripción	Probabilidad	Política de Inventario	Distribución de la demanda
DESENGRASANTE BIODEGRADABLE	1	Qs (200,150)	Normal (23.975, 11.8027)
FILTRO DE ACEITE - COMPLETO	1	Qs (50,25)	Normal (3.35,0.73324)
REFRIGERANTE 50/50	1	Ss (200,100)	Poisson (12)
FILTRO HIDRAULICO DE SUCCION (B222)	0.33	RS (4,8)	Uniforme (1)
LOAD RODAJE MASTIL TAPERED 6 9 MAST	0.33	RS (4,10)	Poisson (4)
BATERIA 13 PRO G24 A1 12VC 87 AH NOR	0.56	RSs (4,8,3)	Poisson (0.5)
ANCLA DE CADENA	0.33	RSs (4,12,8)	Uniforme (1)
BATERIA EQUIPO J40XNT 48V 750 AH 6HPZS	0	-	-

2.8 Análisis de resultados

En la Figura 43, podemos observar la simulación de inventario para el producto DESENGRASANTE BIODEGRADABLE por el periodo de 500 semanas. Existe un lapso previo a la convergencia del sistema. Para los fines del análisis, no se tendrá en consideración ese tiempo inicio y solo se trabajará con la venta de tiempo, enmarcada en rojo, para realizar los cálculos de utilidad. A través del mismo gráfico, se puede observar que los parámetros seleccionados inicialmente no son necesariamente los óptimos.

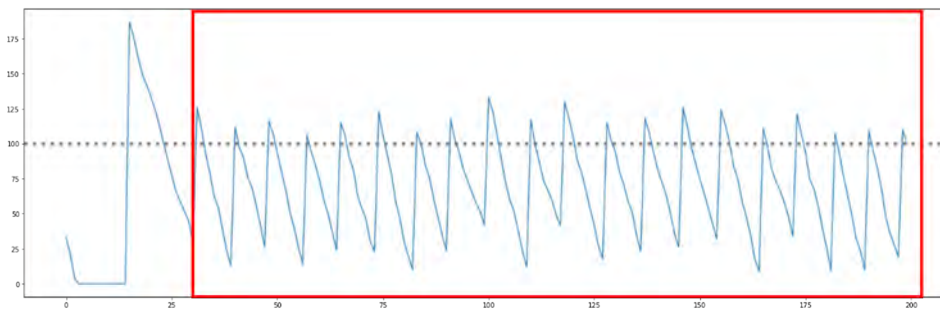


Figura 43: Simulación de Inventario para el producto 1

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 44, observamos la distribución del cálculo de utilidades hallada. Con fines de observar la distribución de las utilidades, se corrieron 700 simulaciones con los parámetros iniciales y política elegida para el producto 1. Observamos que existe cierto comportamiento bimodal en los datos.

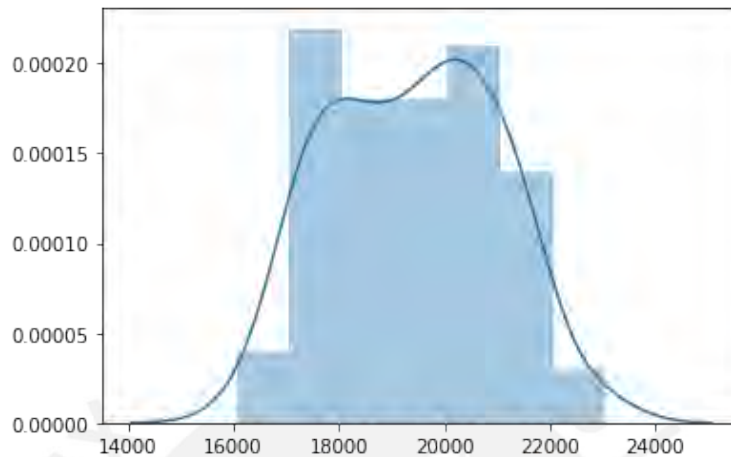


Figura 44: Distribución de Utilidad para el producto 1

Fuente: Elaboración propia

Dado que la utilidad depende de la política de inventario elegida y es proporcional de manera lineal con la demanda y los costos asociados al producto, es posible calcular los óptimos para esta función.

2.9 Alternativas de mejora

Para poder encontrar el juego de parámetros que optimice la política de inventario elegida para cada producto, se plantea dos estrategias. En primer lugar, la estrategia más simple, es iterar en un espacio de parámetros variando todos los parámetros que tenga nuestra política de inventario y calculando su función de utilidad. Este proceso es altamente costoso a nivel computacional y su complejidad espacial y temporal crece exponencialmente en proporción al grado de precisión que buscamos. Esta técnica conocida como búsqueda en grilla, tiene la ventaja de que nos permite conocer como es la superficie generada por el espacio de parámetros como se observa en la Figura 45. A través de la figura, podemos observar que la superficie generada por los parámetros es cuadrática con óptimo global definido, sin presencia de óptimos locales marcados.

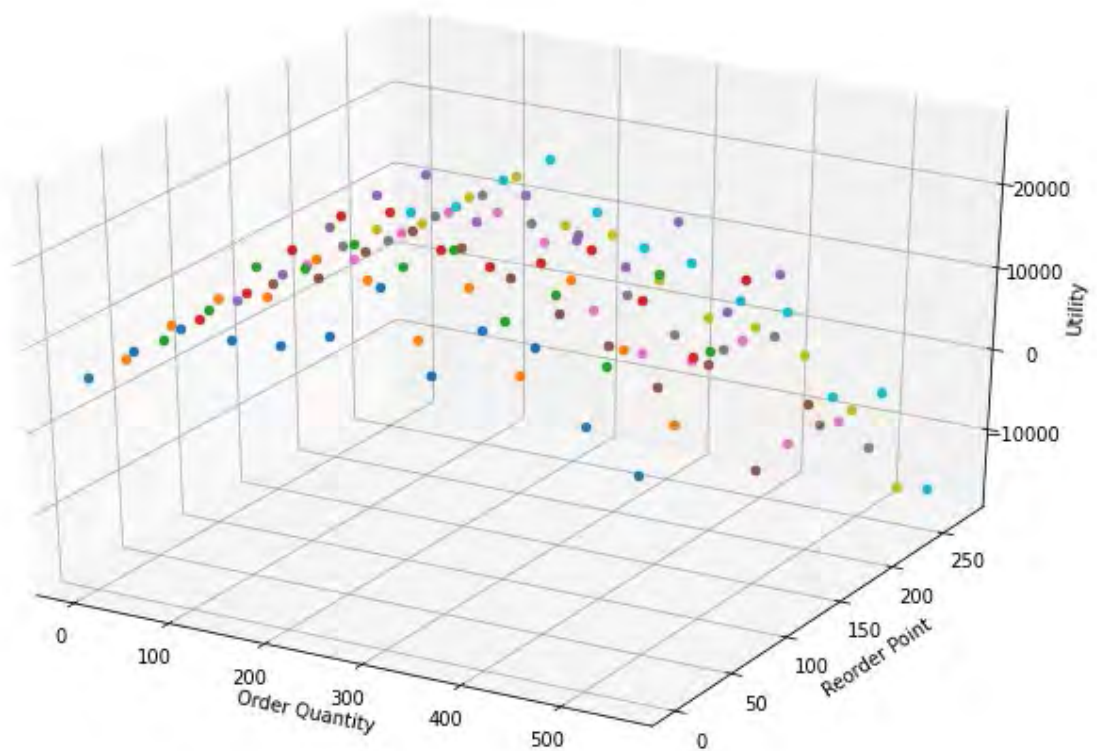


Figura 45 Utilidad en función de Q y s

Fuente: Elaboración Propia

Nuestra alternativa principal para poder calcular los parámetros óptimos de cada política de inventario es el uso de la Optimización Bayesiana, técnica empleada en los algoritmos de aprendizaje de máquina para la búsqueda en el espacio de hiperparámetros. Como se observa en la Figura 46, a partir de la décima iteración del algoritmo, se llega a convergencia en cuanto a los parámetros óptimos. A diferencia de la búsqueda por grilla, en el cual el tiempo computacional está severamente influenciado por la inicialización de los parámetros. En la Figura 47, podemos observar la concentración de puntos donde los parámetros hacen que la función alcance su valor máximo. Asimismo, se observa un bosquejo espacial de la función de adquisición que el algoritmo de optimización bayesiana utiliza internamente para hallar el máximo.

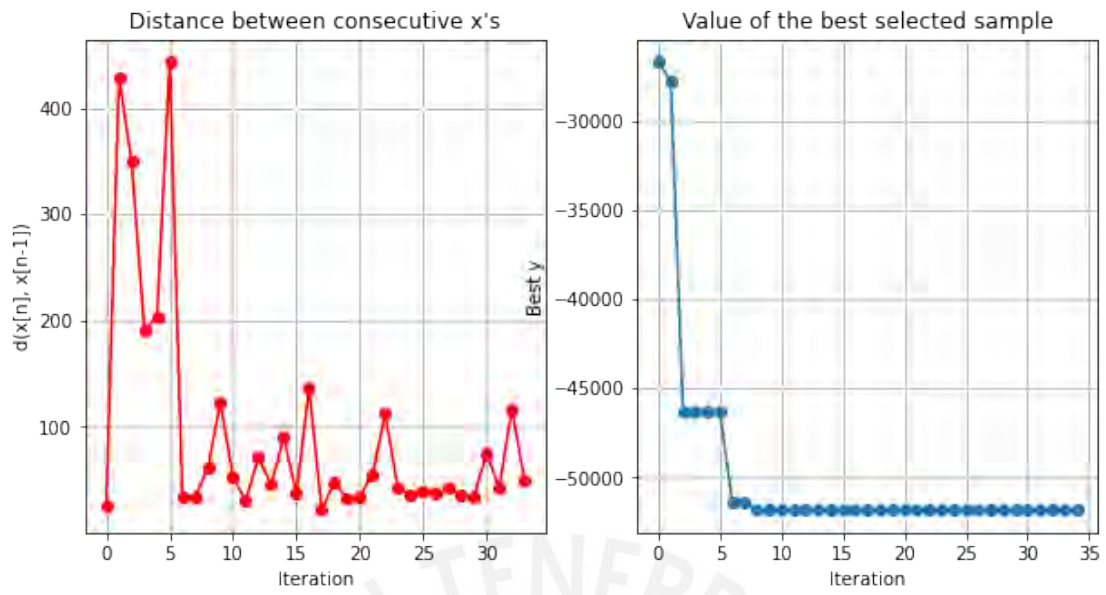


Figura 46: Optimización Bayesiana para los parámetros del Producto 1

Fuente: Elaboración Propia

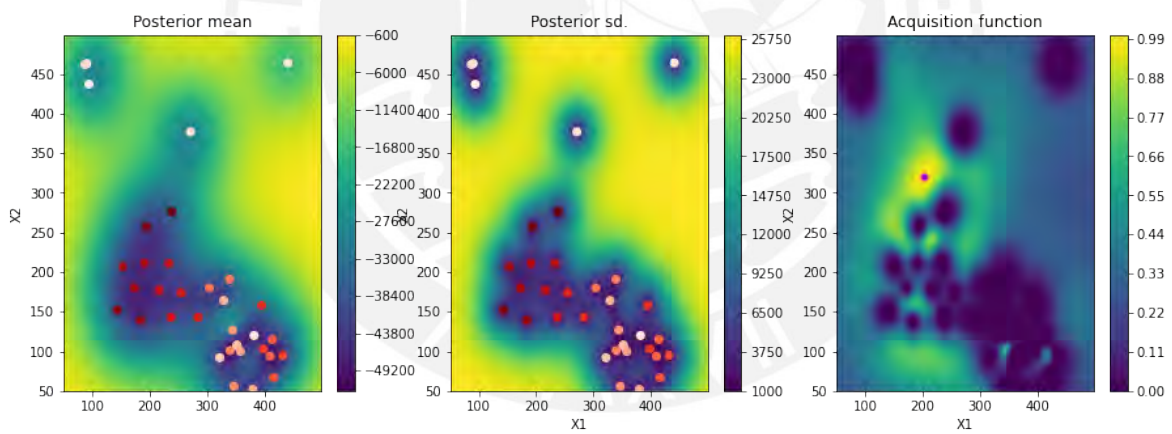


Figura 47: Función de Adquisición para el espacio de parámetros del Producto 1

Fuente: Elaboración Propia

Capítulo 3 : Evaluación económica de la propuesta

Para evaluar la viabilidad de la propuesta es necesario cuantificar el impacto de la implementación de esta frente a los principales indicadores manejados por la empresa, los ahorros que se pueden generar y los costos en los que se incurren al aprobar la propuesta. Dado que la familia de repuestos que maneja la empresa es numerosamente grande y la data no se encuentra validada para todos los productos, se decidió tomar una muestra de cada tipo de repuesto según la clasificación planteada y realizar el análisis técnico y económico en función de esta.

3.1 Evaluación técnica

Actualmente, la política de la empresa para los productos del tipo de mantenimiento preventivo es un modelo R,S en el cual el periodo de revisión es de cada tres meses y el inventario objetivo es la estimación de inventario para los siguientes tres meses (13 semanas) utilizando un promedio simple y proyectando. Para los productos de mantenimiento correctivo, la política de inventario es también un sistema de revisión periódica, pero en el cual el pedido de compra se realiza cuando el cliente lo solicita y las existencias de inventario son cero. Para simplificar el análisis de los repuestos de este grupo, se usará el modelo Q, s con un nivel de reorden igual a 0. En la tabla 28 podemos ver una comparación entre las políticas antiguas y las políticas recomendadas por el marco de trabajo propuesto para cada uno de los productos elegidos de distintas categorías.

Tabla 28: Política Optimizada vs Antigua para un conjunto de repuestos

Clasificación / Tipo Mantenimiento	Descripción	Política Antigua	Política Optimizada
alpha/preventivo	DESENGRASANTE BIODEGRADABLE	RS (13,320)	Qs (250,160)
beta/preventivo	FILTRO DE ACEITE - COMPLETO	RS (13,320)	Qs (300,251)
gamma/preventivo	REFRIGERANTE 50/50	RS (13,320)	Qs (450,120)
alpha/correctivo	FILTRO HIDRAULICO DE SUCCION (B222)	QS (4,0)	RS (4,8)
beta/correctivo	LOAD RODAJE MASTIL TAPERED 6 9 MAST	QS (10,0)	RS (4,50)
gamma/correctivo	BATERIA 13 PRO G24 A1 12VC 87 AH NOR	Qs(8,0)	RSs (4,9,3)
delta/correctivo	ANCLA DE CADENA	Qs (12,0)	RSs (4,9,4)
omega/correctivo	BATERIA EQUIPO J40XNT 48V 750 AH 6HPZS	Mantener 1-2 piezas en inventario	Liquidar. Pedir cuando se requiera

Como se observa en la tabla 29, todos los productos tuvieron una mejora positiva en cuanto a nivel de servicio y fill rate, a excepción del FILTRO DE ACEITE – COMPLETO y el REFRIGERANTE 50/50 para los cuales tanto el fill rate como el nivel de servicio se mantuvo constante. Posteriormente en el apartado de sensibilidad del presente capítulo, analizaremos el rango de variación promedio en nivel de servicio y fill rate para el conjunto de los productos.

Tabla 29: Variación en puntos porcentuales en Fill Rate y Nivel de Servicio

KPI	Fil Rate (Variación %)					Nivel de Servicio (Variación %)				
	Producto	Mean	Median	Max	Min	SD	Mean	Median	Max	Min
DESENGRASANTE BIODEGRADABLE	19.01	18.99	20.64	17.08	0.63	20.62	20.71	24.29	16.79	1.15
FILTRO HIDRAULICO DE SUCCION (B222)	34.17	34.33	45.26	18.99	4.26	37	37.14	46.79	23.93	4.74
LOAD RODAJE MASTIL TAPERED 6 9 MAST	55.15	55.29	62.81	46.31	3.02	52.61	52.86	61.43	41.07	3.66
BATERIA 13 PRO G24 A1 12VC 87 AH NOR	46.32	46.37	58.79	26.07	5.3	46.8	46.79	60.36	31.07	4.59
ANCLA DE CADENA	13.12	13.27	22	0.88	3.86	13.04	13.21	22.14	4.64	3.3

3.2 Evaluación económica

Para realizar la evaluación económica de la propuesta, se definirán detalladamente cuales son los ingresos y egresos relevantes relacionados a la implementación del marco de trabajo. Una vez definido eso, se estimará la viabilidad del proyecto a través de la métrica de tasa de retorno (TIR) y valor presente neto (VPN). Este último análisis, se hará en función de la muestra de 7 productos. Para poder estimar el resultado de aplicar el modelo en la familia entera de productos, se utilizará un factor de escala, el cual dependiendo del ingreso o costo a registrar en el balance económico, tendrá un efecto de economía de escala distinto.

3.2.1 Ingresos Relevantes

Como se observa en la Tabla 30, en promedio, para el conjunto de repuestos analizados, se percibe un aumento de costos en 16000 unidades monetarias y 30000 unidades monetarias en ingresos. Resultado previstos debido a un aumento significativo en el nivel servicio. Con la política de inventario desarrollada, el nivel de servicio promedio de la empresa paso de 50% a 95% en promedio, lo cual se

ve reflejado en un mayor nivel de inventario y mayor rotación. Lo cual, a su vez, nos da indirectamente un esperado de que la relación con los clientes mejore en el tiempo y por ende las ventas aumenten. Sin embargo, para este análisis, nos centraremos netamente en los indicadores económicos cuantificables.

Tabla 30: Variación en unidades monetarias en costo, ingresos y utilidad

Descripción	Costo Anual		Ingresos Anuales		Utilidad	
	Delta (UM)	Delta (%)	Delta (UM)	Delta (%)	Delta (UM)	Delta (%)
DESENGRASANTE BIODEGRADABLE	8073.22	21.46%	11879.96	23.72%	3806.74	30.58%
FILTRO DE ACEITE - COMPLETO	-2010.01	-48.71%	-0.69	0.01%	2009.32	-169.53%
REFRIGERANTE 50/50	-1082.96	-3.77%	83.07	0.26%	1166.03	15.89%
FILTRO HIDRAULICO DE SUCCION (B222)	1949.94	53.02%	2994.28	58.10%	1044.34	72.54%
LOAD RODAJE MASTIL TAPERED 6 9 MAST	11807.75	126.00%	18398.26	126.89%	6590.52	129.65%
BATERIA 13 PRO G24 A1 12VC 87 AH NOR	-3120.04	-47.39%	-4755.2	-48.30%	-1635.16	-49.87%
ANCLA DE CADENA	727.36	15.93%	1071.66	15.46%	344.3	16.30%

Se observa en todos los productos un aumento positivo de la utilidad anual en la política propuesta frente a la política anterior, a excepción del producto BATERIA 13 PRO G24 A1 12VC 87 AH NOR correspondiente a la familia de los productos delta-correctivo, donde a pesar de que se observa un aumento significativo de más de 46 puntos porcentuales en nivel de servicio y fill rate, la variación en utilidad es negativa. Que la variación en utilidad sea negativa, no es condición suficiente para descartar una política de inventario, es necesario analizar las ventajas estratégicas de tener ciertos materiales en inventario y la mejora en la calidad de servicio ofrecida al usuario. La política propuesta simplifica el proceso de compras significativamente, lo cual reduce el tiempo que tiene que invertir tanto el gerente de planeamiento como el encargado de almacén. Sin embargo, dado que no es posible cuantificar esos ahorros a precisión, no se consideran esos ahorros para el presente estudio. Por otro lado, para poder concluir que nuestra política de productos para esa familia de productos es la adecuada, es necesario completar la simulación de la familia entera. Para la muestra seleccionada, se tiene que la variación total de la utilidad, debido a la implementación de la herramienta, es de 13326 unidades monetarias con una desviación estándar de 1936 unidades monetarias. Este monto, será el ingreso relevante principal de la herramienta y se proyectará de manera constante para un periodo de 5 años.

3.2.2 Egresos Relevantes

Una vez determinado los ingresos de la herramienta, es necesario definir cuáles son los costos asociados a la implementación del marco de trabajo propuesto. Para la implementación de este es necesario del desarrollo de un sistema robusto con hardware especializado que permita ejecutar el algoritmo de optimización de políticas de inventario y a su vez poder registrar y almacenar de manera segura los datos de la empresa. La empresa no cuenta con una infraestructura especializada para esto, por lo cual se plantea el uso de servicios nube.

Para el desarrollo de la herramienta se decidió un enfoque centrado en el usuario final mas no en el modelo, esto principalmente a que se requiere que el sistema sea manejado por las diversas áreas de la empresa como lo son el área de comercial, planeamiento y almacén y demás áreas de soporte las cuales no requieren un conocimiento detallado del modelo. La herramienta debe contar principalmente con capacidades de control y gestión de la familia de repuestos. Es indispensable, capacitar de manera periódica a los usuarios.

Costo de desarrollo

La inversión inicial del proyecto abarca el trabajo realizado por el consultor desde el primer acercamiento con la empresa hasta el desarrollo final del marco del trabajo y lanzamiento a producción del sistema. Para poder cuantificar en términos monetarios esto, se hizo un análisis del tiempo consumido en cada una de las etapa y se multiplico por un ratio que corresponde al ratio hora de un analista junior. El proyecto se puede dividir en 5 etapas consecutivas.

- **Análisis de Requisitos:** Se organizan reuniones con el gerente de operaciones, encargado de almacén y otros socios claves del proyecto para analizar la problemática principal y extraer los requerimientos funcionales del sistema a desarrollar, así como el alcance del proyecto.
- **Diseño y Arquitectura:** Se definen los casos de uso y las tecnologías a usar para la elaboración del programa. Se darán recomendaciones al usuario final acerca de las pantallas del sistema, métricas importantes a analizar y flujo de trabajo recomendado.
- **Desarrollo:** Se realiza la programación de las 4 etapas del marco de trabajo propuesto en los lenguajes de Python y JavaScript. El sistema a desarrollar será una aplicación web y se trabajará bajo la metodología ágil para tener una constante retroalimentación del usuario final y generar una herramienta útil que genere valor real al usuario.
- **Pruebas:** Previo al lanzamiento a producción del sistema, se realizan las correcciones del programa tanto en funcionalidad como en lógica interna con el apoyo del usuario final. La estrategia para el despliegue será escalonada, mitigando de esa manera el riesgo de un rechazo

al cambio del usuario.

- Documentación: Se entregarán al dueño del proyecto los diagramas de arquitectura, pruebas unitarias, manuales de usuario y manuales técnicos desarrollados en el transcurso del proyecto. Se realizará una reunión de cierre del proyecto para la retroalimentación necesaria.

En la Tabla 31, se resumen los costos de cada etapa proporcional a las horas invertidas, calculados de acuerdo con las horas proyectadas y el ratio hora de un consultor asociado.

Tabla 31: Costos desarrollo herramienta de gestion de inventario de repuestos

Etapa	Costo
Análisis de Requisitos	S/5,746.00
Diseño y Arquitectura	S/3,094.00
Desarrollo	S/10,608.00
Pruebas	S/3,315.00
Documentación	S/.2762.5

Capacitación Personal

El proyecto se centra en el usuario. Es necesario capacitar al gerente y analistas del áreas de Operaciones y Planeamiento, así como a los encargados de Almacén y Comercial en el nuevo marco de trabajo propuesto para la gestión de inventarios. Un punto clave en el funcionamiento del marco de trabajo propuesto, es la comunicación eficiente entre las áreas mencionadas. Si el usuario final, no encuentra valor en el uso del sistema o no tiene facilidad para para migrar a este, el marco de trabajo propuesto no tendrá valor alguno. Para realizar la capacitación se propone la realización de un workshop de duración de 2 días, donde se desarrollará casos de estudios para entender la lógica de la nueva metodología y su importancia en la optimización de los procesos actuales. El objetivo principal del Workshop es que el usuario entienda la necesidad del cambio y vea la herramienta como una necesidad para solucionar sus problemas actuales. De manera anual, se realizará un workshop de un día completo con la finalidad de identificar los nuevos problemas que han surgido a raíz de uso del marco de trabajo y se identificaran oportunidades de mejora tanto a nivel de procesos como a nivel de sistema. Para este workshop anual, se reunirá a la alta gerencia y encargados de la toma de decisiones y se trabajará bajo la metodología de Design Thinking propuesta por International Business Machines (IBM) . En la Tabla 32, podemos ver los costos relacionados a cada workshop.

Tabla 32: Costos capacitación personal

Evento	Costo
Workshop: “Entendiendo el nuevo marco de trabajo de gestión de inventario de repuestos”	S/6000
Workshop: “Innovación en la gestión de inventario de repuestos”	S/. 4000

Soprote consultor

Para realizar mantenimiento del sistema posterior al lanzamiento a producción y solucionar problemas de ejecución potenciales propios de la configuración de la herramienta, es necesario contar con el soporte de un consultor de cadena de suministros con conocimientos en tecnologías de información. Se calcula 16h que se necesitaran para el mantenimiento de la herramienta cada 3 meses, lo cual nos da como resultado 64h al año. Asimismo, a partir del segundo año de la puesta en marcha del nuevo marco de trabajo y en relación con los workshops de Design Thinking a realizarse, se necesitarán hacer nuevas configuraciones a la herramienta, lo cual requerirá de aproximadamente 40h. Para estimar los costos, se utilizará el ratio de un consultor junior de la empresa estadounidense End-to-End Analytics, el cual es de 32.5 dólares la hora. En la Tabla 33, podemos ver los costos relacionados por los servicios del consultor. El tipo de cambio de dólar a soles utilizado es de 3.4.

Tabla 33: Costos mantenimiento

Evento	Costo
Mantenimiento y corrección de errores	S/. 7072
Configuraciones menores de la herramienta	S/. 4972.5

Arquitectura

El núcleo del sistema está desarrollado en los lenguajes de programación de R (Clasificación y Forecast) y Python (Optimización y Simulación). Estos lenguajes son de código libre, por lo que no es necesario la adquisición de licencias para su uso. Sin embargo, se requiere de cierta capacidad computacional para poder ejecutar el código. Las pruebas de la arquitectura planteada se realizaron en un ordenador Intel Core i7 de 4ta generación, 64bits, 16gb RAM, 8 Núcleos, 2gb GPU NVIDIA GeForce GT 755M. Los tiempos de ejecución para cada etapa del marco de trabajo, se detallan en la Tabla 34.

Tabla 34: Tiempos por etapa

Etapa	Tiempo	Unidad
Clasificación	60	min
Forecast	2	min/repuesto
Optimización	3	min/repuesto
Simulación	2.25	min/repuesto

Con las capacidades actuales de procesamiento, para realizar la optimización de los 1500 tipo de repuestos que maneja la compañía, obviando los de la clasificación omega, sería necesario de 7.59375 días, tiempo no factible si es que se quiere repetir la optimización cada 3 meses. Para solucionar este problema, se hará uso de las ventajas de la paralelización. Los módulos de Forecast, Optimización y Simulación son módulos que se pueden independizar en conjunto para cada repuesto y por ende es posible paralelizar gran porción del marco de trabajo. Para lograr la paralelización de los procesos es necesario la adquisición de un ordenador con el suficiente número de núcleos y poder computacional para soportar la paralelización. Se propone del uso de un proceso de por lo menos 8 núcleos lógicos, de esa manera el tiempo se vería proporcionalmente reducido en una magnitud entre 7-8, reduciendo a menos de 1 día la optimización total y logrando de esa manera factible la ejecución de este.

En cuanto a la visualización es necesario del desarrollo de un sistema CRUD (Crear, Leer, Actualizar y Eliminar) para que el usuario pueda gestionar los movimientos de inventario, estado de los contratos, registrar ordenes de mantenimiento, órdenes de compra y gestionar la flota de vehículos que se posee. A partir de los registros realizados a través del CRUD e información migrada del sistema SAP, se desarrollan tableros que permitirán a la gerencia tener una visual global y detallada de la situación de las diversas áreas y tomar decisiones basadas en datos.

Dado estos requerimientos computacionales, se propone la arquitectura del sistema mostrada en la figura 48. La base de datos a utilizar para guardar los resultados será PostgreSQL. Se escoge una base de datos del tipo relacional, dado que se realizará una conexión con los datos que ellos manejan actualmente a través de su sistema SAP y la información que se tiene es del tipo estructurada. La elección de PostgreSQL frente a MySQL es debido al gran volumen de datos que se va a manejar y al mejor desempeño que tiene esto respecto a una alta velocidad, fiabilidad y escalabilidad tanto en escritura y lectura de datos.

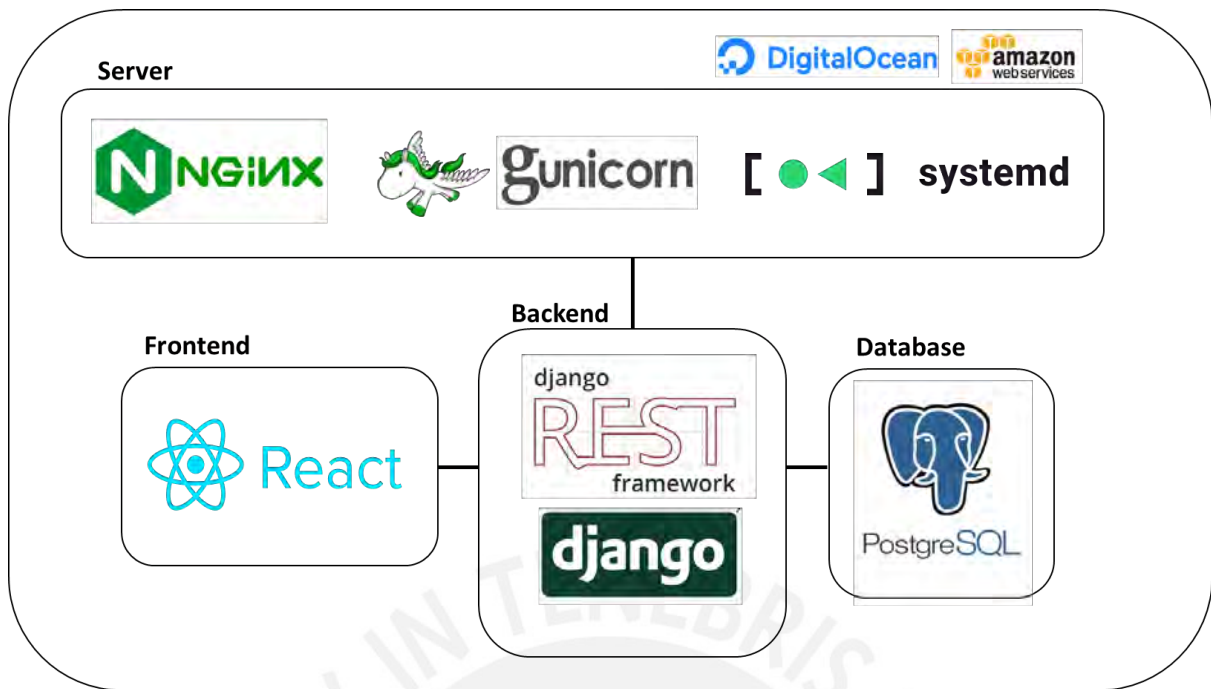


Figura 48: Arquitectura propuesta para la herramienta de optimización de inventarios

Fuente: Elaboración Propia

La aplicación principal se desarrollará en lenguaje Python, debido a las capacidades de escalabilidad y soporte en producción que presente este frente al lenguaje R. Se migraron los algoritmos de Clasificación y Forecast utilizando la librería matemática de Numpy y se aceleró la ejecución de este a través de la librería Numba. Django es un web framework open source basado en el lenguaje de Python. La elección de Django es principalmente a la rapidez en desarrollo, la gestión de seguridad y la flexibilidad para escalar. Django Rest Framework nos permitirá gestionar las solicitudes del Frontend y hacer solicitudes a la base de datos

Para poder realizar los tableros y cumplir con los requerimientos visuales planteados como rapidez de respuesta y poder ser visible desde cualquier tipo de dispositivo (ordenador, tableta y celular) se escoge la tecnología de React. React es una librería de JavaScript que permite realizar interfaces de usuario de manera sencilla, cuenta con una amplia cantidad de componentes disponibles y el soporte de una comunidad numerosa. El sistema a desarrollar deberá ser responsivo, es decir permitir a En la figura 49 se observa un boceto de las pantallas que se busca realizar para el apartado de optimización de inventarios.

Para adquirir la plataforma donde se realizará el despliegue de la solución y se realizara la configuración del servidor se tienen dos alternativas DigitalOcean y Amazon Web Services. DigitalOcean se caracteriza por estar más enfocada a desarrolladores y Amazon Web Services (AWS) a un público general. Dado la popularidad de Amazon Web Services y un mayor madurez en cuanto al soporte, se

decidió optar por esta alternativa. Asimismo en caso, en un futuro sea otra empresa la que de mantenimiento al sistema, existe una mayor probabilidad que cuente con conocimiento en AWS. Como parte de la arquitectura, no se recomienda ejecutar un servidor local de Django en producción porque es solo un servidor de prueba, no un servidor listo para afrontar los retos producción. Para ejecutar Django en producción se propone la ejecución a través de Gunicorn con Nginx como proxy inverso para proporcionar una mayor seguridad a la aplicación. Systemd permitirá supervisar y controlar el proceso de Junior.

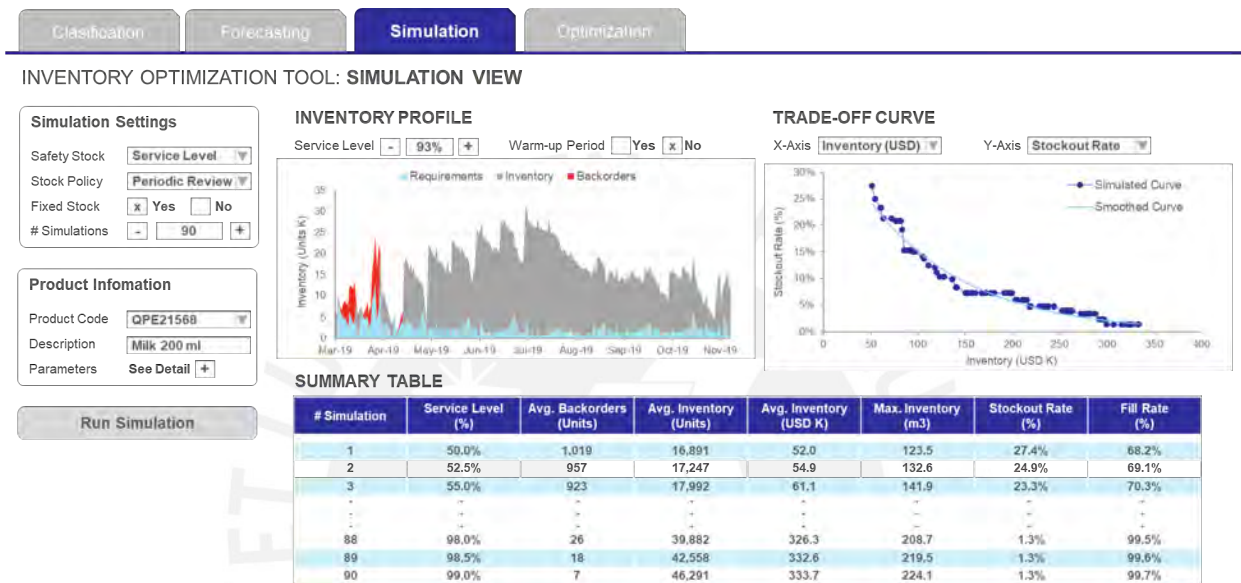


Figura 49: Interfaz de usuario propuesta

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 35 se puede observar los costos detallados de la arquitectura planteada estimados a Mayo 2020, cumpliendo con los requerimientos computacionales necesarios. Se omite el costo de alquiler del dominio web y opciones de seguridad adicional, debido a que es un monto variable y depende de las preferencias del cliente. Amazon Elastic Compute Cloud (EC2) es el servidor donde se hará el despliegue de la aplicación. Asimismo se requiere de un administrador de BD que maneje las copias de seguridad del sistema y monitoree las cargas del sistema.

Tabla 35: Costos Arquitectura Cloud

Tipo de Servicio	Precio
Amazon EC2 Service (US East (Ohio))	S/. 1441.76
Administrador BD	S/. 497.6
Total	S/. 1939.360

3.2.3 Flujo de caja económico

Para la elaboración del flujo económico, dado que la optimización solo se ha hecho para un productos de cada uno de los clústeres desarrollados a partir de la clasificación realizada. Los ingresos producto de la optimización de inventario se escalarán en un ratio K. Asimismo, los costos de desarrollo y pruebas de la inversión inicial son proporcionales a ese valor de K y los costos relacionados a mantenimiento serán proporcionales a la raíz cubica del valor de K. El horizonte de análisis es de 5 años. En la Tabla 36 podemos observar el flujo de caja para un factor de escala K=80 teniendo en cuenta los ingresos y egresos definidos previamente.

Tabla 36: Flujo de caja económico

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos		1066087.2	1066087.2	1066087.2	1066087.2	1066087.2
Capacitación Personal		(6000)	(4000)	(4000)	(4000)	(4000)
Arquitectura		(1939.36)	(1939.36)	(1939.36)	(1939.36)	(1939.36)
Mantenimiento y corrección de errores		(30472.32)	(30472.32)	(30472.32)	(30472.32)	(30472.32)
Configuraciones menores de la herramienta		(21425.85)	(21425.85)	(21425.85)	(21425.85)	(21425.85)
Desarrollo Herramienta	(1125442.5)					
Utilidad	-1125442.5	1006249.66	1008249.66	1008249.66	1008249.66	1008249.66

Se obtiene una Tasa de Interés de Retorno (TIR) de 85% y un Valor Presente Neto (VPN) de S/ 1,888,174.51, con un costo de capital definido en 20%

3.2.4 Estudio de sensibilidad

Para el estudio de sensibilidad, se mostrará el impacto en la variabilidad de los diversos parámetros definidos frente a las métricas del TIR y VPN, indicadores los cuales permiten tomar decisión frente a la viabilidad del proyecto.

El monto definido como ingreso relevante es una magnitud definida de manera probabilística como se observa en la Figura 44. Esto debido a que la magnitud es calculada a través de una simulación definida por una demanda de naturaleza probabilística. El valor de la desviación estándar está fuertemente

relacionado al error estimado del pronóstico. En los casos donde se tiene certeza de la demanda como en el mantenimiento programado, el error de forecast o desviación estándar es de cero. Dada esta volatilidad del parámetro de ingresos, se opta por realizar simulación a través del método de Montecarlo variando diversos parámetros. Para escalar el valor de la media se multiplicará por el factor de escala K y el valor de la desviación estándar se multiplicará por la raíz de este factor como se observa en las fórmulas. Se definirán intervalos de confianza a un nivel de significancia del 95% para el análisis.

$$\mu = \hat{\mu} * K$$

$$\sigma = \sigma * \sqrt{K}$$

Analizando el impacto del factor de escala en la métrica del TIR, podemos observar una tendencia logarítmica. Se observa en la Figura 50 que el efecto del ratio K es mínimo en el rango de 50 a 100, donde alcanza un punto de convergencia en un TIR de aproximadamente 85%; por lo cual, se puede concluir que para el modelo base planteado (K=80), el TIR es una magnitud robusta frente a cambios. Por otro lado, se observa que a medida que el factor de escala aumenta, el tamaño de intervalos de confianza se reduce, efecto que se hereda principalmente de la manera en que se calcula la desviación.

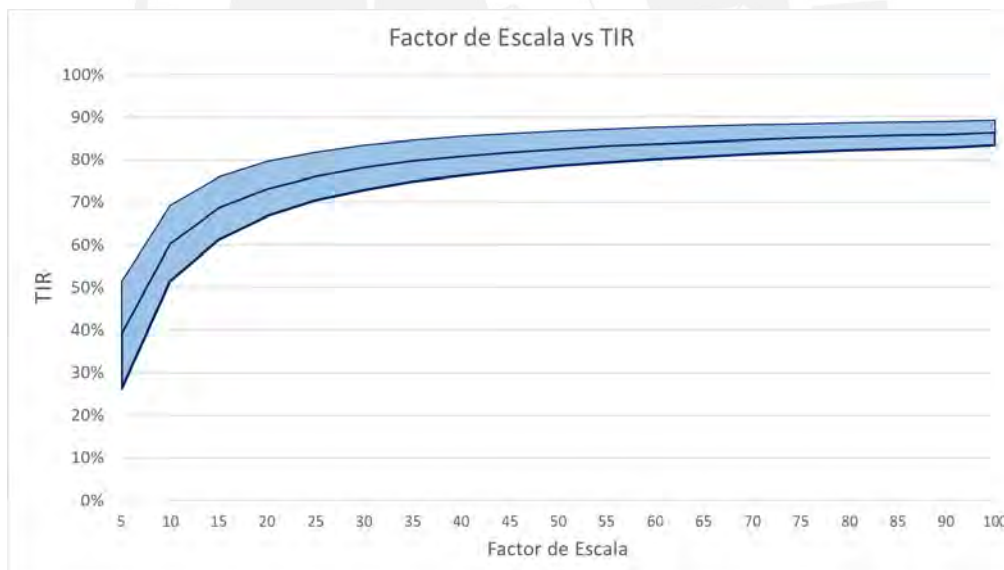


Figura 50: Variación TIR frente al parámetro de factor de Escala K

Fuente: Elaboración Propia

Asimismo, se analiza como el cambio del factor de Escala afecta al valor del VPN. A diferencia del TIR, la tendencia marcada es exponencial. El valor presente neto es el resultado de traer todos los flujos de caja a tiempo presente. Sabiendo eso, se puede concluir que mientras mayor sea la cantidad de productos que agreguemos a la herramienta, la ganancia va a ser mayor. Sin embargo, la volatilidad o incertidumbre de esta ganancia también incrementará.

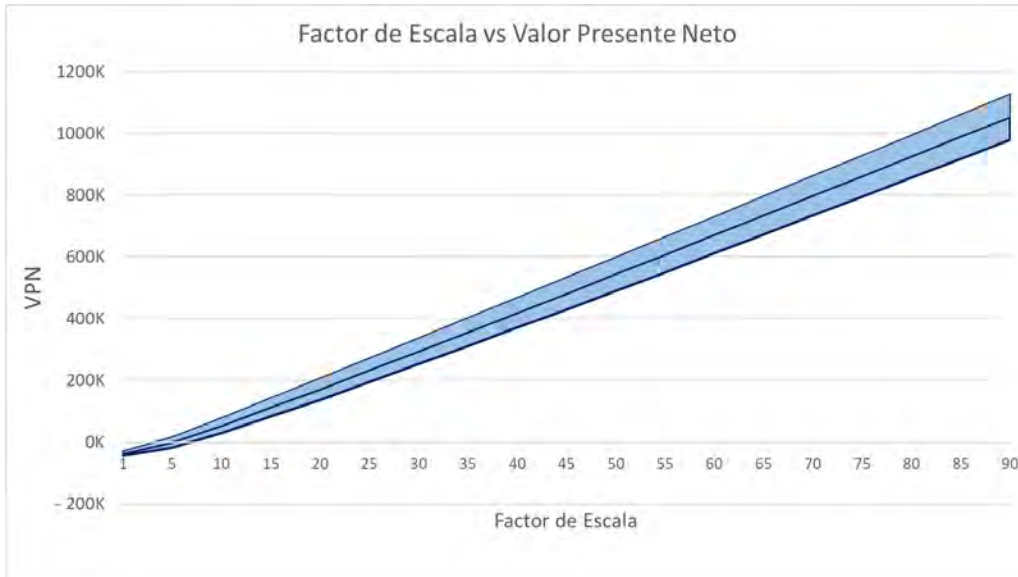


Figura 51: Variación VPN frente al parámetro de factor de Escala K

Fuente: Elaboración Propia

Asimismo, si se realiza un acercamiento en el rango de 1 al 10 para el factor de escala, como se observa en la Figura 52, se puede observar que el punto de equilibrio promedio se encuentra para un $K=5$; sin embargo, si se quiere tener la certeza completa de que el proyecto es factible ($VPN > 0$), se recomienda que como mínimo el factor de escala sea 7. Es decir, el proyecto requiere un mínimo de aproximadamente 50 productos distribuidos uniformemente en cada categoría alfa-omega definida, para que sea viable la implementación del marco de trabajo propuesto.

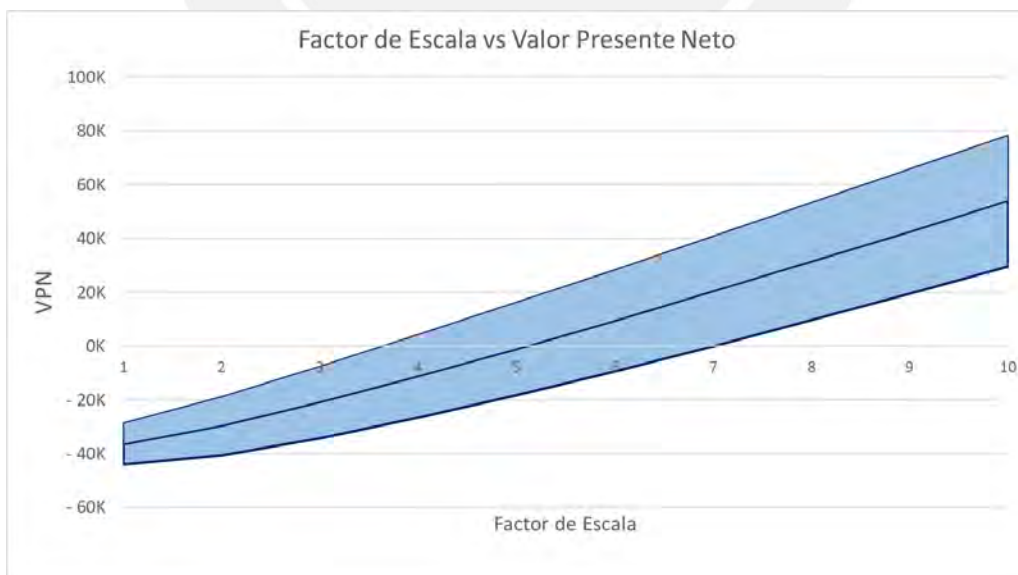


Figura 52: Punto de Equilibrio – Factor de escala

Fuente: Elaboración Propia

Otra métrica importante de analizar es el costo de capital, lo cual es un factor externo a la empresa. Como se observa en la Figura 53, al hacerlo variar, fijando el escenario base, se observa una tendencia armónica o hiperbólica. A través del gráfico, se puede concluir que para el escenario base con un costo de capital del 20%, lograr una reducción de algunos puntos porcentuales, conlleva un incremento exponencial de las ganancias.

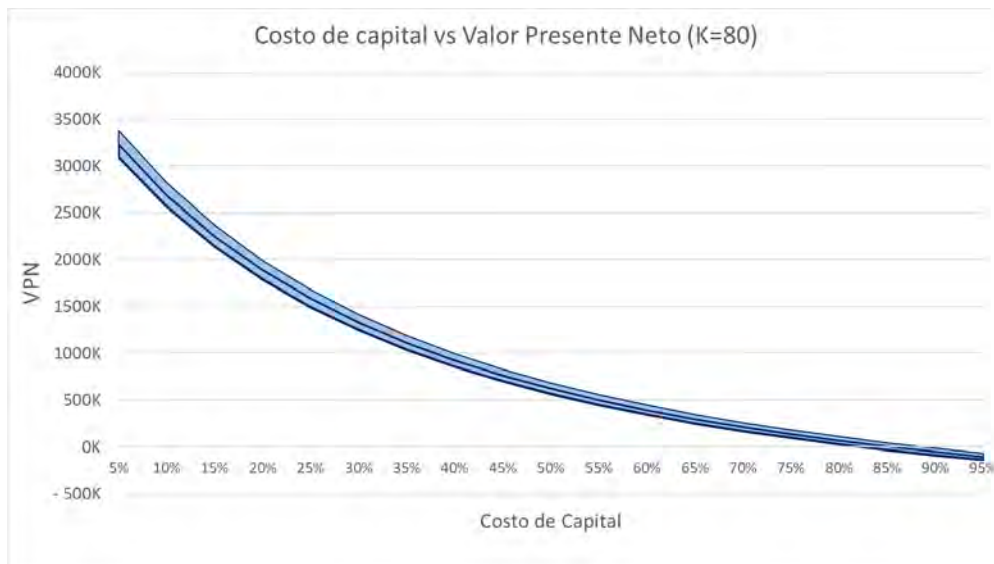


Figura 53: Costos de capital vs Valor presente neto

Fuente: Elaboración Propia

Si solo se hubieran considerado los cálculos realizados con el valor esperado, se pudo haber concluido que el valor máximo de costo de capital que se puede aceptar es de 85%. Sin embargo, analizando la Figura 54, se observa que parte del intervalo cae en la división $VPN < 0$, lo cual lo hace infactible al proyecto. Si se quiere asegurar la factibilidad del proyecto, se debe tener como máximo un TIR de 82%.

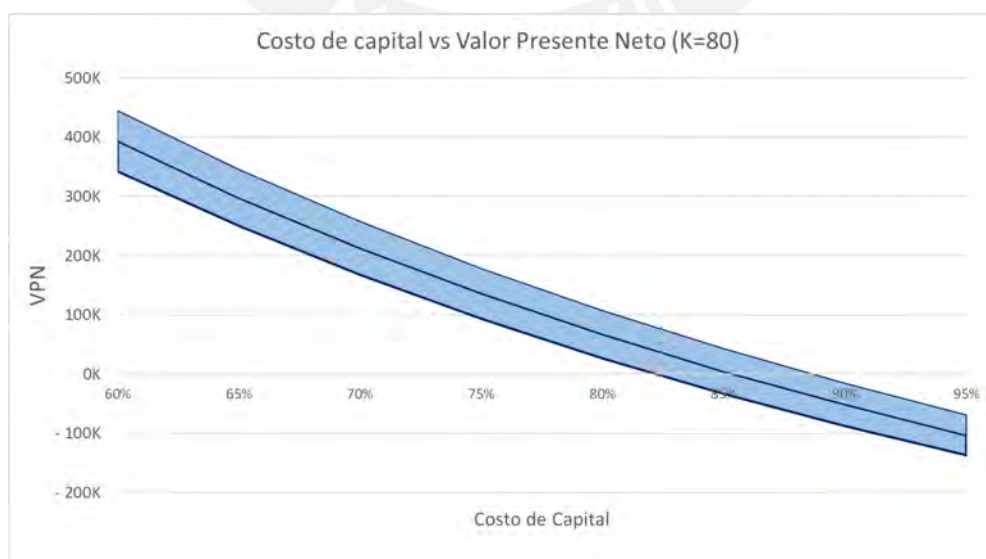


Figura 54: Punto de Equilibrio – Costo de capital

Fuente: Elaboración Propia

Por último, se analiza la distribución de las métricas para nuestro escenario base. Como se observa en la Figura 55, la varianza de los ingresos propia de la naturaleza de la simulación no tiene un efecto pronunciado en el valor del TIR. El 95% de los valores se encuentra centrado en 85% con límite inferior de 81.6% y límite superior de 90.3%

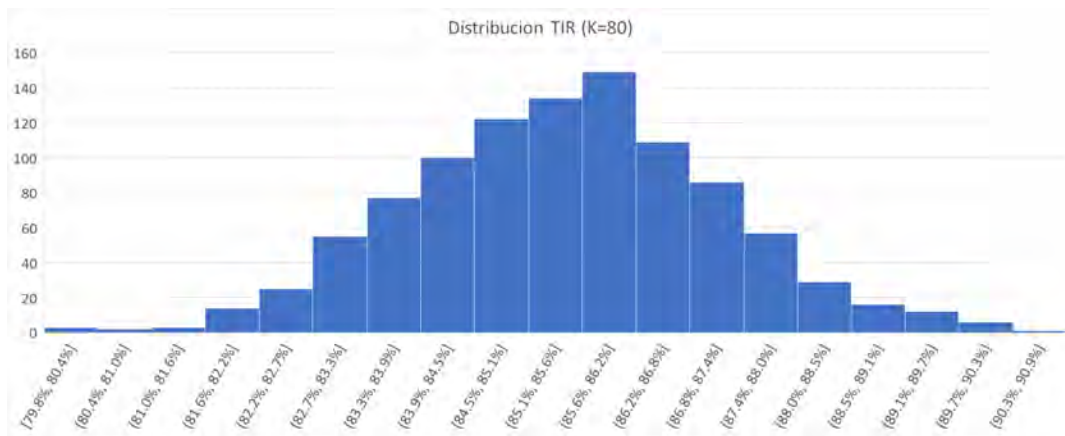


Figura 55: Histograma Tasa de Retorno (K=80)

Fuente: Elaboración Propia

A diferencia del TIR, se puede observar en la Figura 56 que el valor del VPN para el escenario base si tiene un efecto pronunciado producto de la variación en el ingreso. El valor calculado de VPN sigue una distribución normal centrada en 920k y con un 95% de los valores contenidos entre 820K y 1034k. Valores los cuales representan una diferencia porcentual del 12% de la media frente al límite superior e inferior.

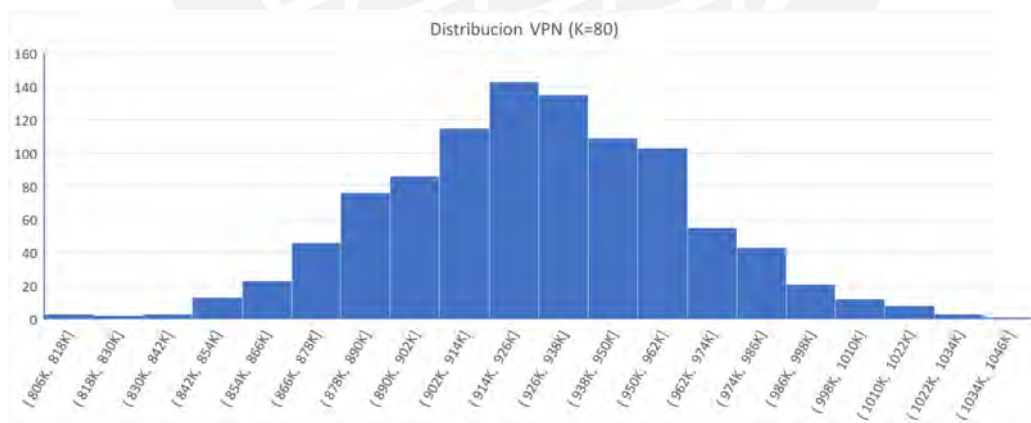


Figura 56: Histograma Valor Presente Neto (K=80)

Fuente: Elaboración Propia

Conclusiones

- Una adecuada clasificación de inventarios permite a la empresa formular estrategias claras frente a cada producto y de esa manera evitar las rupturas de stock y sobrecostos. A través de esto, es posible aumentar la eficiencia y productividad de la empresa, haciéndola competitiva en el mercado en el que se encuentra. La clasificación multicriterio propuesta frente al tradicional ABC nos permite capturar a mayor profundidad la naturaleza intermitente y de altos costos de los repuestos.
- Los algoritmos para pronóstico de la demanda planteados nos permiten aproximar la demanda futura a cierto nivel de confianza; sin embargo, se ve influenciado por la cantidad de datos históricos existentes. Si bien la inversión en un sistema ERP es un factor clave en la generación de un gobierno de datos de calidad, el compromiso de la alta gerencia y la capacitación de los empleados juegan un rol decisivo en el éxito de dicha inversión junto con la implementación de la herramienta propuesta.
- A pesar de que para algunos de los productos del tipo delta, se tienen reducciones en la utilidad frente a la política anterior de la empresa. se tiene aumentos de fill rate y nivel de servicio de alrededor de 40%. En el caso de los productos del tipo beta, la política actual generaba utilidad anual negativa debido a la baja demanda que se tuvo en los últimos años. Con la política propuesta, se reduce el stock de seguridad generado, de tal manera que la utilidad anual sea positiva.
- El marco de trabajo planteado genera una tasa de retorno promedio de 55% con un intervalo de confianza del 95% comprendido entre 37% y 78%. Con un factor de escala de 20, se espera que el aumento de utilidad la empresa este alrededor de 1 millón de soles anualmente. Asimismo genera un aumento conjunto del nivel de servicio y fill rate en un . Por otro lado, al mismo tiempo que se aumenta la utilidad a través de la implementación de las nuevas políticas, los costos de sostener esta política también aumentan por lo cual es necesario analizar si la empresa cuenta con el presupuesto para sostener dichas políticas.

Recomendaciones

- Los ahorros que se pueden generar a través de la optimización de las políticas de inventario junto con la implementación del marco de trabajo propuesto pueden llegar a ser exorbitantes; sin embargo, el éxito de la implementación de esta es altamente proporcional a la cultura organizacional que posea la empresa. La empresa debe enfocarse, en primer lugar, en solucionar los problemas de comunicación entre las áreas de ventas, planeamiento y almacén. Asimismo, la implementación de una adecuada estrategia de gobierno de datos y transformación digital es indispensable para el éxito de la herramienta.
- Si bien el análisis, se vio limitado a una muestra de productos de la nueva clasificación propuesta debido a capacidad computacional. El marco de trabajo es aplicable a todos los productos que maneja la empresa. Si se tiene que dar prioridad a solo ciertos productos, se recomienda priorizar los productos tipo alpha y gamma debido a que estos tienen un mayor impacto en la satisfacción del cliente y en la mejora de utilidades. Asimismo, para poder aumentar la liquidez de la empresa, se recomienda eliminar los productos de la categoría omega y delta, ya que su rotación es casi nula y representa un costo de oportunidad perdido para la empresa tanto en términos monetarios como de espacio en almacén.
- Para poder aceptar una política recomendada por la herramienta, es indispensable tener claro los objetivos de la empresa y escoger la política que más se ajuste a estos. De acuerdo con el contexto de la empresa a veces se puede tener preferencia en un mayor nivel de servicio que se vea compensado en una reducción de utilidades o viceversa.
- En caso se opte por implementar la herramienta, es necesario capacitar continuamente a los empleados para que tengan conocimiento de la política que sigue cada tipo de producto y los procedimientos necesarios para que esta se pueda desarrollar sin ningún inconveniente. Se recomienda actualizar la política de inventario cada 6-9 meses, debido a que en ese periodo de tiempo, es posible capturar un cambio en el comportamiento de la demanda y por ende una variación en la política. Sin embargo, en caso se detecte un cambio brusco de la demanda debido a factores exógenos a la empresa, es de suma importancia hacer la actualización de la política.

Bibliografía

April, J., Glover, F., Kelly, J. P., & Laguna, M. (2003, December). Practical introduction to simulation optimization. In *Proceedings of the 35th conference on Winter simulation: driving innovation* (pp. 71-78). Winter Simulation Conference.

Braglia, M., Grassi, A., & Montanari, R. (2004). Multi-attribute classification method for spare parts inventory management. *Journal of quality in maintenance engineering*, 10(1), 55-65.

Chawla, G., & Miceli, V. (2019). Demand Forecasting and Inventory Management for Spare Parts.

Cobbaert, K., & Van Oudheusden, D. (1996). Inventory models for fast moving spare parts subject to "sudden death" obsolescence. *International Journal of Production Economics*, 44(3), 239-248.

Cohen, M. A., & Ernst, R. (1988). Multi-Item Classification and Generic Inventory Stock Contr. *Production and Inventory Management Journal*, 29(3), 6.

Diseñado para perdurar. Para prevalecer ante los desafíos. (Octubre de 2019). Obtenido de HYSTER: <https://www.hyster.com/latin-america/es-mx/Acerca-de/Historia/>

Do Rego, J. R., & de Mesquita, M. A. (2015). Demand forecasting and inventory control: A simulation study on automotive spare parts. *International Journal of Production Economics*, 161, 1-16.

Gajpal, P. P., Ganesh, L. S., & Rajendran, C. (1994). Criticality analysis of spare parts using the analytic hierarchy process. *International journal of production economics*, 35(1-3), 293-297.

Glover, F., Kelly, J. P., & Laguna, M. (1999, December). New advances for wedding optimization and simulation. In *WSC'99. 1999 Winter Simulation Conference Proceedings. 'Simulation-A Bridge to the Future'* (Cat. No. 99CH37038) (Vol. 1, pp. 255-260). IEEE.

Gross, D., & Pinkus, C. E. (1979). Designing a support system for repairable items. *Computers & Operations Research*, 6(2), 59-68.

Heinecke, G., Syntetos, A. A., & Wang, W. (2013). Forecasting-based SKU classification. *International Journal of Production Economics*, 455-462.

Hu, Q., Boylan, J. E., Chen, H., & Labib, A. (2018). OR in spare parts management: A review. *European Journal of Operational Research*, 266(2), 395-414.

Huiskonen, J. (2001). Maintenance spare parts logistics: Special characteristics and strategic choices. *International journal of production economics*, 71(1-3), 125-133.

Ilgin, M. A., & Tunali, S. (2007). Joint optimization of spare parts inventory and maintenance policies using genetic algorithms. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 34(5-6), 594-604.

Indicadores de desempeños fundamentales para tu inventario. (Agosto de 2019). Obtenido de TRANSGESA: <https://www.transgesa.com/blog/los-mejores-indicadores-desempeno-gestion-inventarios/>

Ishikawa, K. (1968). *Guide to Quality Control*. Tokyo: JUSE.

Kennedy, W. J., Patterson, J. W., & Fredendall, L. D. (2002). An overview of recent literature on spare parts inventories. *International Journal of production economics*, 76(2), 201-215.

Mantenimiento de montacarga Hyster. (Octubre de 2019). Obtenido de Hyster: <http://www.ltperu.pe/servicios/#4>

Moore, R. (1996). Establishing an inventory management program. *Plant Engineering*, 50(3), 113-115.

Nakagawa, T. (1981). Generalized models for determining optimal number of minimal repairs before replacement. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 24(4), 325-338.

Sarker, R., & Haque, A. (2000). Optimization of maintenance and spare provisioning policy using simulation. *Applied Mathematical Modelling*, 24(10), 751-760.

Shelly, G. B., & Vermaat, M. E. (2011). *Discovering Computers, Complete: Your Interactive Guide to the Digital World*. Boston: Cengage Learning.

Silver, E. A., Pyke, D. F., & Peterson, R. (1998). *Inventory management and production planning and scheduling* (Vol. 3, p. 30). New York: Wiley.

Syntetos, A. A., Boylan, J. E., & Croston, J. D. (2005). On the categorization of demand patterns. *Journal of the operational research society*, 495-503.

Ventajas Globales. Soluciones a la medida. (Octubre de 2019). Obtenido de Hyster: <https://www.hyster.com/latin-america/es-mx/acerca-de/alcance-global/>