UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

Repositorio Digital USM **https://repositorio.usm.cl**

Tesis USM TESIS de Pregrado de acceso ABIERTO

2022

GESTION DE REPUESTOS EN BODEGA CASA MATRIZ PARA “TRANSPORTES CVU S.A.”

CARRASCO TORREJON, DIEGO IGNACIO

https://hdl.handle.net/11673/54031

Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

GESTIÓN DE REPUESTOS EN BODEGA CASA MATRIZ PARA "TRANSPORTES CVU S.A."

Trabajo de Titulación para optar al Título de Ingeniería de Ejecución en MECÁNICA DE PROCESOS Y MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Alumno:
Diego Ignacio Carrasco Torrejón

Profesor Guía:
Sr. Carlos Baldi González

2022

Este trabajo está dedicado especialmente a Dios, a mis padres Luis y Rosanna que lo han dado todo por mí y para que llegara hasta este momento de mi vida. Han sido incondicionales.

A mis abuelos que ya sea vivos o muertos siempre están en mis recuerdos y pensamientos, en especial mi abuelo Horacio que siempre confió en mí y me decía que quería verme lograr este objetivo antes de partir de este mundo, lamentablemente no fue así, pero esto va por él y también mi abuela Ana.

A mis tíos Mónica y Mario que me recibieron muy cordiales y atentos en su hogar cuando apenas empezaba esta aventura lejos de mi ciudad y casa hasta el final de esta.

Y finalmente a los amigos que me dio la vida universitaria, porque no hubiera sido lo mismo sin ellos. Y a todos docentes, paradocentes y funcionarios que formaron parte de este proceso es esta universidad.

¡Gracias!

RESUMEN EJECUTIVO

Keywords: ADMINISTRAR-CLASIFICACIÓN-CODIFICACIÓN-NIVEL ÓPTIMO DE EXISTENCIAS

El objetivo general de este trabajo es gestionar repuestos presentes en la bodega Casa Matriz de la empresa Transportes CVU, a través de las metodologías antes mencionadas, con la finalidad de mejorar de manera cualitativa la administración de los repuestos y beneficiar cuantitativamente la economía de la empresa.

Y los objetivos específicos son 3. Realizar la Clasificación de todas las existencias presentes en la bodega, usando información proporcionada por un inventario y un criterio de clasificación propio basado en la referencia del libro Manual de Mantenimiento, con el fin de conocer las clases de existencias que hay y específicamente la clase de repuestos que se gestionará. Realizar la Catalogación, usando un criterio propio de Codificación y Parametrización basado en el libro Manual de Mantenimiento, para mejorar cualitativamente la administración de los repuestos. Encontrar el Nivel Óptimo de Existencia de los repuestos con menor rotación, usando el Modelo Probabilístico de Control de Inventario, para disminuir el capital ocioso beneficiando la economía de la empresa.

El trabajo consta de 3 capítulos. El Capítulo I presenta los antecedentes que se tienen de la bodega. Estos antecedentes tienen la finalidad de mostrar el contexto en el cual se va a efectuar y desarrollar este trabajo para tener un punto de vista cercano y comprender de mejor manera su desarrollo. Otro punto de este mismo es el marco teórico que muestra las bases teóricas en las que se fundamentan las estrategias usadas para lograr los objetivos propuestos. Principalmente se ven los métodos Clasificación, Catalogación de material técnico y la Optimización del Nivel de Existencia usando el modelo probabilístico

El Capitulo II presenta la metodología del desarrollo de este trabajo. Para la Clasificación fue necesario un inventario, que consistió en anotar cada existencia en una planilla de forma manual, algunos parámetros (información) requeridos para la parametrización y valorizar el inventario. Su método fue usar un criterio de clasificación propio referido al libro nombrado, para crear clases y niveles de existencias: Familias, Subfamilias, Grupo, Subgrupo y Especie, donde el nivel básico es Familias y el resto son subniveles del que se le antepone (de izquierda a derecha). En la Codificación se usó un criterio propio para definir la estructura y componentes del código. En el análisis ABC se usó el principio de

Pareto, que establece que el 20% de los repuestos generan el 80% del valor total del inventario; se calculó el valor total de los repuestos para luego ordenarlos descendentemente y calcular que porcentaje es del Total, de esa manera estos porcentajes se acumulan y al llegar al 80% eso serán del conjunto A, al llegar al 95% será el conjunto B y al 100% será el conjunto C. En el conjunto A están los repuestos con menor rotación que son requeridos para optimizar su nivel de stock. Finalmente, en la Optimización del Nivel de Existencia se usó el modelo probabilístico para demanda incierta que, a través de una simulación de demandas, dada por una función de probabilidad, se calculó el nivel de stock óptimo considerando también los costos asociados a la gestión del repuesto evaluado.

El Capítulo III presenta los resultados de los métodos y un análisis costo-beneficio. Los resultados de la Clasificación fue la obtención de 4 Familias, 10 Subfamilias, 56 Grupos, 89 Subgrupos y 286 Especies. El resultado de Catalogación fue un código compuesto por una letra inicial, 5 pares de números y el número de ítem, además de 6 parámetros relacionados a la parametrización. El resultado del análisis ABC fue que el conjunto A lo componen 510 repuestos equivalentes al 27,69% de la cantidad total de repuestos y se hallaron los repuestos de menor rotación. Finalmente, los resultados de la optimización del nivel de existencia fueron que para 2 repuestos el nivel óptimo de stock fue 0 mientras que para otro fue 1. El análisis costo-beneficio arrojó que el resultado de la aplicación de esta gestión es aceptable y favorable y genera un beneficio 6,29 veces mayor que el costo.

Como punto final tenemos las conclusiones que en cuanto a la clasificación se pudo decir que al incluir 3 niveles de clasificación más, en comparación con lo que sugiere la teoría, se obtuvo una mayor y mejor especificación para cada tipo de repuesto porque se le agrega más información a cada clasificación, lo que se interpreta como mayor certeza al momento de clasificar. Se concluye que esta metodología es útil y ayudó a cumplir con el objetivo. En cuanto a la codificación se pudo concluir que aumentando la composición original (teóricamente) de 3 pares de números a 5 pares de números se obtuvo un código mejorado. También se le agregó y ubicó una letra al comienzo del código con el objeto de discriminar de manera rápida y fácil a qué Familia pertenece, dado que dicha letra corresponde a la inicial de la Familia perteneciente. Estos resultados significan que la metodología sí funciona para crear un código de identificación.

Del análisis ABC se concluyó que sí establece a los repuestos con menor rotación. Por último, se concluye de la optimización del nivel de existencias que al tener el nivel óptimo de stock sí beneficia la economía de la empresa al disminuir el capital ocioso.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN **1**

OBJETIVOS DEL TRABAJO DE TITULO **3**

Objetivo general 3

Objetivo específicos 3

CAPÍTULO I: MARCO TEORICO Y ANTECEDENTES GENERALES **4**

1. MARCO TEORICO Y ANTECEDENTES GENERALES 5

1.1 MARCO TEÓRICO 5

1.1.1 CLASIFICACIÓN DEL INVENTARIO 5

1.1.2 CATALOGACIÓN DE MATERIAL TÉCNICO 6

1.1.2.1 Codificación de Existencias 6

1.1.2.2 Parametrización de Inventario 7

1.1.3 NIVEL ÓPTIMO DE EXISTENCIAS 7

1.1.4 MODELO PROBABILÍSTICO 9

1.1.5 GESTIÓN DE LA BODEGA MATRIZ 13

1.1.5.1 Relaciones administrativas de la bodega matriz 13

1.1.5.2 Descentralización de Bodegas 14

1.1.5.3 Criterios de Almacenamiento 15

1.2 ANTECEDENTES GENERALES 16

1.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA 16

1.2.1.1 Ubicación 16

1.2.2 BODEGA CASA MATRIZ 17

1.2.2.1 Primera Planta 18

1.2.2.2 Segunda Planta 20

1.2.3 EJECUCIÓN DE PROCEDIMIENTOS EN BODEGA 25

1.2.3.1 Procedimiento de Recepción 26

1.2.3.2 Procedimiento de Almacenamiento 27

1.2.3.3 Procedimiento de Inventario 27

1.2.3.4 Procedimiento de Despacho 27

1.2.3.5 Procedimiento de Distribución 27

1.2.3.6 Procedimiento de Adquisición y Compra 27

1.2.4 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 28

CAPÍTULO II: METODOLOGÍAS **30**

2.1 METODOLOGÍAS 31

2.1.1 CLASIFICACIÓN 31

2.1.1.1 Inventario 31

2.1.1.2 Valorización de inventario 32

2.1.1.3 Clasificación 32
2.1.2 CATALOGACIÓN 34
2.1.2.1 Codificación 34
2.1.2.2 Parametrización de existencias 35
2.1.3 OPTIMIZACIÓN DEL NIVEL DE EXISTENCIAS 36
2.1.3.1 Análisis ABC 36
2.1.3.2 Determinación de existencias con menor rotación 38
2.1.3.3 Modelo Probabilístico 38
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y ANALISIS COSTO BENEFICIO 44
3.1 RESULTADOS 45
3.1.1 RESULTADOS CLASIFICACIÓN 45
3.1.1.1 Resultados de Inventario 45
3.1.1.2 Resultados valorización de inventario 45
3.1.1.3 Resultados de Clasificación 46
3.1.2 RESULTADOS CATALOGACIÓN 47
3.1.2.1 Resultados de Codificación 47
3.1.2.2 Resultados de Parametrización 48
3.1.3 OPTIMIZACIÓN DEL NIVEL DE EXISTENCIA 49
3.1.3.1 Resultados Análisis ABC 49
3.1.3.2 Resultado determinación de existencias con menor rotación 51
3.1.3.3 Resultados de implementación de Modelo Probabilístico 51
3.2 ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO 61
CONCLUSIONES 65
BIBLIOGRAFÍA 68
ANEXO A **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
ANEXO B **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
ANEXO C **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
ANEXO D **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
ANEXO E **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
ANEXO F **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Producto de probabilidades 10
Figura 2-1. Esquema relaciones administrativas 14
Figura 3-1. Imagen satelital “Bodega Matriz Transportes CVU” 16
Figura 4-1. Fotografía “Bodega Casa Matriz CVU” 18
Figura 5-1. Fotografía “Ubicación EPPs” 18
Figura 6-1. Fotografía “Ubicación Artículos de Aseo” 19
Figura 7-1. Fotografía “Ubicación Estante de Filtros” 20
Figura 8-1. Fotografía “Ubicación Zona de Recepción y Despacho” 20
Figura 9-1. Fotografía “Ubicación Repuestos” 21
Figura 10-1. Fotografía “Departamento Carrocería” 21
Figura 11-1. Fotografía “Departamento Dirección” 22
Figura 12-1. Fotografía “Departamento Eléctrico” 22
Figura 13-1. Fotografía “Departamento Filtros” 23
Figura 14-1. Fotografía “Departamento Frenos y Suspensión” 23
Figura 15-1. Fotografía “Departamento Mangueras” 24
Figura 16-1. Fotografía “Departamento Motor” 24
Figura 17-1. Fotografía “Departamento Rodamientos” 25
Figura 18-1. Mapa conceptual procedimientos 26
Figura 19-1. Esquema “Operaciones de Bodega” 28
Figura 1-2. Inventario manual 32
Figura 2-2. Demostración Niveles de Clasificación 34
Figura 3-2. Estructura de código 35
Figura 4-2. Asa de escotilla 41
Figura 5-2. Embrague viscoso electromagnético 42
Figura 6-2. Tablero de instrumentos 43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Porcentajes correspondientes a conjuntos ABC 8
Tabla 1-2. Registro OC 32
Tabla 2-2. Ejemplo Clasificación 34
Tabla 3-2. Código definitivo 35
Tabla 4-2. Valor Total descendente 36
Tabla 5-2. Valor Total Relativo, Valor Relativo Acumulado 36
Tabla 6-2. Pertenencia a conjuntos y % de conjunto 37
Tabla 7-2. Plantilla para cálculos de CT(S) 40

Tabla 8-2. Flota de buses 43
Tabla 1-3. Parámetros recopilados 45
Tabla 2-3. Valorización repuestos 46
Tabla 3-3. Numeración por Tipología para Códigos 46
Tabla 4-3. Numeración Subgrupo y Especie 47
Tabla 5-3. Repuestos codificados 48
Tabla 6-3. Porcentajes análisis ABC 49
Tabla 7-3. Evidencia filtración de repuestos 50
Tabla 8-3. Datos Asa de escotilla 53
Tabla 9-3. Resultados p(d) para embrague viscoso 53
Tabla 10-3. Resultados CT(S) para Asa de escotilla 54
Tabla 11-3. Datos Embrague viscoso electromagnético 55
Tabla 12-3. Resultados p(d) y $p_2(d)$ para embrague viscoso 56
Tabla 13-3. Resultados CT(S) para Embrague viscoso 57
Tabla 14-3. Datos Tablero de instrumentos 58
Tabla 15-3. Resultados p(d) y $p_3(d)$ para Tablero de instrumentos 59
Tabla 16-3. Resultados CT(S) para Tablero de instrumentos 60
Tabla 17-3. Stock Asa de escotilla 61
Tabla 18-3. Costos-Beneficio Asa de escotilla 62
Tabla 19-3. Stock de Embrague viscoso 62
Tabla 20-3. Costos-Beneficios Embrague viscoso 62
Tabla 21-3. Stock Tablero de instrumentos 63
Tabla 22-3. Costos-Beneficios Tablero de instrumentos 63
Tabla 23-3. Costos-Beneficios total 64

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1. Gráfica Subdemanda 12
Gráfico 2-1. Gráfica Sobredemanda 12
Gráfico 1-3. Diagrama de Pareto 51
Gráfico 2-3. Gráfica CT(S) Asa de escotilla 54
Gráfico 3-3. Gráfica CT(S) Embrague viscoso 57
Gráfico 4-3. Gráfica CT(S) Tablero de instrumentos 60

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Costo Total en función de Stock probable 9

Ecuación 2. Función de Densidad de Probabilidad 10

Ecuación 3. Tasa de Fallas para distribución exponencial 11

Ecuación 1 (a). Costo Total por Excedente de Stock 40

Ecuación 1 (b). Costo Total por Ruptura de Stock 40

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

a) SIGLAS

SGS : Sistema de Gestión de Stock.

CVU : Cesar Villegas Urrutia.

EPP : Elementos de Protección Personal.

S.A. : Sociedad Anónima.

SM : Stock Mínimo.

SMA : Stock Máximo.

SS : Stock de Seguridad.

PP : Punto de Pedido.

CT : Costo Total.

OC : Orden de Compra.

SOLPE : SOLICITUD DE PEDIDO.

OT : Orden de Trabajo.

VDM : Vale de Devolución de Materiales.

MTTF : Mean Time To Failure.

OEM : Original Equipment Manufacturer.

b) SIMBOLOGÍA

% : Porcentaje.

$: Signo Peso

λ : Tasa de Falla

INTRODUCCIÓN

La Gestión de Repuestos es la actividad o proceso de guiar una estrategia por medio de metodologías para obtener, objetivamente, mejoras administrativas, ejecutivas y económicas. Gestión de Repuestos se ocupa de la administración, organización y funcionamiento de una bodega y como consecuencia, también de los repuestos presentes en ella. Es una actividad que se vincula con los procesos y el mantenimiento industrial porque las bodegas son las encargadas de administrar los elementos esenciales, llamados repuestos, que son necesarios para el mantenimiento de algún activo que forme parte de algún proceso. A través de este trabajo se ven diferentes metodologías que son útiles para llevar a cabo una gestión, como la Clasificación, Codificación y Optimización del Nivel de Existencia las cuales son sugeridas por el libro Manual de Mantenimiento: Ingeniería, Gestión y Organización del ingeniero aeronáutico Alejandro Pistarelli, quien está dedicado al mantenimiento industrial.

Un objetivo de la gestión de repuestos relacionado a las mejoras económicas es encontrar un Nivel Óptimo de Existencias que conceptualmente se define como un balance entre la Máxima Disponibilidad y el Mínimo Nivel de Existencia que puede tener un tipo de repuesto. En efecto para lograr la disminución de costos relacionados al quiebre o ruptura de stock de repuestos demandados y al exceso o excedentes de repuestos por sobre la demanda. Del mismo modo estos costos se pueden traducir respectivamente como perdidas por interrupción de la producción o de la entrega de un servicio a falta de un repuesto y perdidas por efecto del capital ocioso o capital sin movimiento y usufructo de él. Entonces en definitiva se disminuyen dichos costos, convirtiéndolos en beneficios económicos para cualquier empresa que implemente este tipo de gestión.

Para cumplir con el objetivo mencionado en el párrafo anterior se usa un modelo denominado Modelo Probabilístico de Control de Inventario, método principal y fundamental para alcanzar el balance de interés que se busca. Es un modelo que en base a una simulación de posibles demandas ofrece una solución definida como la cantidad o stock a poseer de un repuesto. Esta solución es equivalente y corresponde al Nivel Óptimo de Existencia.

Junto a lo anterior, se pueden mencionar otros 2 métodos como la Clasificación de las diferentes existencias y la Codificación de los repuestos presentes, que son usados para mejorar la administración de estos repuestos.

Es común que esta gestión sea una ocupación infravalorada debido a que se ignoran los beneficios tanto administrativos como monetarios que pueden aportar a una empresa. Siendo que es relevante para la mecánica y el mantenimiento al estar vinculada directamente con estas materias en donde profesionalmente me desempeñaré.

Con todo lo mencionado previamente, es posible aplicar y llevar a cabo una buena gestión de repuestos en cualquier empresa. En este trabajo se reflejarán los beneficios descritos de dicha gestión y se mostrará la aplicación de esta en la bodega correspondiente a la casa matriz de la empresa Transportes CVU.

OBJETIVOS DEL TRABAJO DE TITULO

Objetivo general

Aplicar la gestión de repuestos en bodega Casa Matriz de Transportes CVU usando el método de Clasificación, Catalogación, y Optimización del Nivel de Existencias para mejorar cualitativamente la administración de los repuestos y beneficiar cuantitativamente la economía de esta empresa.

Objetivo específicos

Para lograr cumplir con el objetivo general se deben realizar algunas tareas específicas. Estas son:

- ✓ Realizar la Clasificación de todas las existencias presentes en la bodega, usando información proporcionada por un inventario y un criterio de clasificación propio basado en la referencia del libro Manual de Mantenimiento, con el fin de conocer las clases de existencias que hay y específicamente la clase de repuestos que se gestionará.

- ✓ Realizar la Catalogación, usando un criterio propio de Codificación y Parametrización basado en el libro Manual de Mantenimiento, para mejorar cualitativamente la administración de los repuestos.

- ✓ Encontrar el Nivel Óptimo de Existencia de los repuestos con menor rotación, usando el Modelo Probabilístico de Control de Inventario, para disminuir el capital ocioso beneficiando la economía de la empresa.

CAPÍTULO I: MARCO TEORICO Y ANTECEDENTES GENERALES

1. MARCO TEORICO Y ANTECEDENTES GENERALES

En esta sección se presentan los conceptos teóricos básicos y claves sobre la Gestión de Repuestos. Estos fueron obtenidos desde el libro Manual de Mantenimiento: Ingeniería, Gestión y Organización del ingeniero aeronáutico Alejandro Pistarelli quien se dedica y desempeña en el ámbito del Mantenimiento Industrial.

Los antecedentes generales tienen el objeto de evidenciar cómo funciona y cuáles son los procedimientos que se realizan en la bodega casa matriz de Transportes CVU para conocer el contexto y el entorno en el cual se va a desarrollar este trabajo de título.

1.1 MARCO TEÓRICO

1.1.1 CLASIFICACIÓN DEL INVENTARIO

La Clasificación es el procedimiento por el cual se busca disponer por clases, es decir, conjuntos de elementos con caracteres comunes los diferentes y variados repuestos presentes en la bodega.

Primeramente, se deben clasificar las existencias en función de algún criterio. Según el libro Manual de Mantenimiento un criterio podría ser el siguiente:

- "Artículos Generales: Este grupo incluye tornillos, tuercas, pinturas, gomas, adhesivos, etc. Son existencias de consumo masivo y de fácil adquisición, como también algunas de ellas son de alta rotación.
- Herramientas: Existencias que generalmente son de mayor costo, por lo que requieren un tratamiento particular. No es conveniente tener una gran reserva de estas, dado su alto precio, baja rotación y fácil obtención, sin embargo, puede ser útil asignar un área que contenga algunas herramientas.
- Suministros/Consumibles: Se utilizan de forma generalizada en muchas aplicaciones. Estos pueden ser lubricantes, solventes, combustibles, filtros, polvos absorbentes, etc.

- Repuestos Universales: Repuestos genéricos instalados en la mayoría de los equipos de la empresa. Se incluyen rodamientos, empaquetaduras, sellos mecánicos, juntas, válvulas, retenes, relés, etc. Su obtención es fácil y su entrega es en corto plazo.
- Repuestos Específicos: Repuestos propios de un diseño especifico que, en principio, no pueden sustituirse con repuestos universales. Generalmente el suministro sólo lo realiza el fabricante del equipo a través de representantes o proveedores designados. Estos pueden ser partes estructurales, engranajes, piezas de precisión, motores, reductores de velocidad, rotores, etc." (Pistarelli, 2010, pág.539-540)

Por lo tanto, las existencias que tengan características coincidentes con alguna definición de estas clasificaciones pertenecerán a aquella clase. Dichas existencias se agruparán y formarán parte de una clase como se dijo anteriormente, o familia como también se le mencionará en este trabajo.

1.1.2 CATALOGACIÓN DE MATERIAL TÉCNICO

Es fundamental considerar que catalogar el total de las existencias, o la mayoría de ellas, significará un beneficio en el control y reposición de artículos.

1.1.2.1 Codificación de Existencias

Todas las existencias deben codificarse para permitir administrar una gran cantidad y variedad de ítems con un código alfanumérico. Se puede decir que es una forma de darle una identificación a cada tipo de repuesto existente aportando beneficios como por ejemplo conocer la trazabilidad de un repuesto especifico, entre otros.

Según el libro Manual de Mantenimiento "Generalmente se adoptan 3 números de dos dígitos. El primer número de 2 dígitos identifica a las clases o familias de repuesto, generando así, por consecuencia, una numeración de las familias. El segundo número de 2 dígitos identifica al grupo de repuestos estableciendo una subdivisión dentro de las Familia; también se genera una numeración para los grupos. El tercer y último número de 2 dígitos identifica al subgrupo que también establece una subdivisión dentro de los grupos y origina una numeración en los subgrupos. Finalmente, el código se completa con

un grupo de dígitos que corresponde al número propio del ítem, correspondiente al inventario ordenado de manera alfabética." (Pistarelli, 2010, pág. 540-541)

Es importante señalar que el código del repuesto debe adherirse en la ubicación física que ocupa el Ítem para facilitar su localización.

1.1.2.2 Parametrización de Inventario

Cada existencia o ítem debe tener una mínima información, denominada Parámetro, que sirve para catalogarlos de mejor manera. Este formato de obtención de información tiene por nombre por Plantilla, que puede contener la siguiente información indicada por el autor del libro:

- "Descripción breve: información básica utilizada para acelerar la búsqueda en el SGS.
- Numero de pieza o Part Number: corresponde al código que identifica a la pieza y que es dado por los fabricantes secundarios del repuesto.
- Fabricante o marca: corresponde al nombre del fabricante o marca original.
- Unidad de medida o despacho, que indica las unidades que componen un ítem.
- Número de Serie o OEM (Original Equipment Manufacturer): corresponde al código que identifica a la pieza y que es dado por el fabricante original.
- Ubicación: corresponde a la ubicación donde se localiza el repuesto." (Pistarelli, 2010, pág. 542)

1.1.3 NIVEL ÓPTIMO DE EXISTENCIAS

Es el balance entre la Máxima Disponibilidad y el Mínimo Nivel de Existencia que pueda tener un repuesto. Para comenzar con la optimización en necesario hacer previamente un estudio o análisis ABC de todos los repuestos en bodega. Este análisis se usará con objetivo de mostrar cuales, y cuantos son los repuestos que tienen más valor y en consecuencia aportar mayoritariamente a la valorización del inventario global.

El análisis ABC se basa en el principio de Pareto o regla del 80-20 que propone que una poca cantidad de factores (el 20%) contribuyen mayoritariamente (el 80%) a la valorización total. Este consiste en manifestar el porcentaje de aporte económico que cada repuesto hace al total del inventario valorizado (100%). Estos porcentajes se ubican en el eje de ordenadas y en las abscisas se presenta el porcentaje que cada repuesto tiene con respecto a la cantidad total del inventario. Esta gráfica se denomina Diagrama de Pareto.

Para realizar el análisis mencionado anteriormente, es preciso contar con un listado valorizado de todos los repuestos y una planilla de cálculo. En este caso particular, se hará uso del programa Excel como la planilla.

Luego los repuestos se clasifican en los conjuntos A, B, y C. Formaran parte del Conjunto A aquellos que representen entre el 70-80% del total del inventario valorizado y que serán los repuestos específicos de mayor valor económico; los del Conjunto B representarán el 15% sucesivo al conjunto A y los repuestos que representen el 5% restante del total del inventario valorizado, pertenecen al Conjunto C. Esto se visualiza en la Tabla 1-1.

Conjunto	% del Valor Total	% de la cantidad de repuestos Total
A	80%	20%
B	15%	20%
C	5%	60%

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Tabla 1-1. Porcentajes correspondientes a conjuntos ABC

Los cálculos para determinar los niveles óptimos de existencias deben respetar el orden ABC; es decir, primero se debe calcular para el Conjunto A, luego para el B y finalmente para el C.

El enfoque de este trabajo estará sólo sobre los repuestos del Conjunto A, que son generalmente repuestos específicos, de alto valor y baja rotación. A estos se les denominará críticos por su considerable aporte sobre la valorización global y la complejidad de conseguirlos por el hecho de ser específicos.

Para encontrar el *Nivel Óptimo de Existencias* se debe determinar el modelo de control de inventario aplicable a cada ítem. Existen 2 modelos diferentes: el *Modelo de Control de Inventario Determinista o del Punto de Pedido* para los repuestos que tienen su *Demanda Conocida* y el *Modelo de Control de Inventario Probabilístico* para los repuestos que tienen su *Demanda Incierta*. Este último fue el seleccionado para este trabajo.

1.1.4 MODELO PROBABILÍSTICO

El *Modelo de Control de Inventario Probabilístico* es el método que se utiliza para encontrar el *Nivel Óptimo de Existencias*, es decir, el balance entre la Máxima Disponibilidad y el Mínimo Nivel de Existencia de un repuesto. Es un modelo que a través de una simulación da como solución el menor Costo Total (CT) que ocasiona la gestión de cada repuesto, es decir el costo total que se alcanza por tenerlo disponible y el costo total que se genera por no tenerlo disponible. Estos costos se mencionan conceptualmente como Costo Total por Excedente ($\mathrm{CT_{EX}}$) de stock y Costo Total por Ruptura ($\mathrm{CT_{RUP}}$) de stock respectivamente. Entonces el *CT* está conformado por la suma de estos costos ($\mathrm{CT_{EX}}$ y $\mathrm{CT_{RUP}}$) y el Costo Anual que se genera por Mantenimiento o Almacenamiento (H). Para este caso particular H se consideró como despreciable (H≈0), porque no hay costo asociado al mantenimiento ni almacenamiento.

El CT está en función del Stock (S) a tener del repuesto que satisfaga una demanda incierta para un intervalo de tiempo llamado Horizonte de Evaluación Económica ($\mathrm{H_{EE}}$). Es por eso que el modelo se evalúa para diferentes S con el fin de estimar distintas posibilidades de valores que pueda adoptar el CT y así elegir el que tenga menor valor. De esa manera es posible conocer cuál es el *Nivel Óptimo de Existencia*.

$$CT(S) = \sum_{d=0}^{S} (S-d)\, C_{Ex} p(d) + \sum_{d=S+1}^{\infty} (d-S)\, C_{Rup} p(d) + H$$

Fuente: Manual de Mantenimiento (Pistarelli), 2010

Ecuación 1. Costo Total en función de Stock probable

El $\mathrm{CT_{EX}}$ contempla el Costo Unitario por Excedente ($\mathrm{C_{Ex}}$) provocado por el exceso de un repuesto, debido a una subdemanda y la Función de Densidad de Probabilidad (p(d)). Por otro lado, el $\mathrm{CT_{RUP}}$ contempla el Costo Unitario por Ruptura provocado por la falta de un repuesto, debido a una sobredemanda y también la Función de Densidad de Probabilidad (p(d)).

La Función de Densidad de Probabilidad (p(d)) es la probabilidad de demandar "d" unidades en todo $\mathrm{H_{EE}}$. Esta función se asume como la Ley de Distribución de Poisson para variable discreta y queda definida como lo muestra la Ecuación 2.

$$p(d) = \frac{(\lambda t)^x \cdot e^{-\lambda}}{x!} = \frac{(\lambda H_{EE})^d \cdot e^{-\lambda H_{EE}}}{d!}$$

Fuente: Manual de Mantenimiento (Pistarelli), 2010

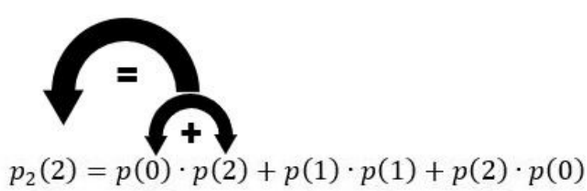
Ecuación 2. Función de Densidad de Probabilidad

"La distribución de probabilidad de la variable aleatoria que representa el número de resultados que suceden durante un intervalo de tiempo dado, o una región específica, recibe el nombre de distribución de Poisson, con parámetro λ." (Arroyo, Bravo, Llinás, Muñoz., 2014, pág. 99)

Es importante y cabe mencionar, respecto a esta p(d), que varía según cuantos activos utilizan el mismo repuesto. Por ejemplo, si existen 2 activos que usan un mismo repuesto la p(d) sería el producto de ambas probabilidades en función de la demanda "d" que se está simulando. Esto se puede representar de la siguiente manera:

$$p_2(d) = p(d) \cdot p(d)$$

Además, las demandas "d" de p(d) deben sumar lo mismo que la demanda "d" de $p_2(d)$ y también en su forma alternada, excepto cuando las demandas son iguales.



Fuente: Elaboración propia, 2021

Figura 1-1. Producto de probabilidades

Se puede ver que la sumatoria de las demandas de la multiplicación p(0) · p(2) es 0+2=2 equivalente a la demanda de $p_2(2)$ que es 2. También se puede apreciar que se alternan las multiplicaciones como p(0) · p(2) → p(2) · p(0), excepto los productos entre demandas iguales como p(1) · p(1).

A modo de ejemplo se puede mostrar el siguiente supuesto propuesto en el Manual de Mantenimiento. “La probabilidad de no demandar alguna unidad durante H_{EE}, es el producto de no demandar alguna unidad en cada activo o equipo.

$$p_2(0) = p(0) \cdot p(0)$$

De la misma forma se obtiene

$$p_2(1) = p(0) \cdot p(1) + p(1) \cdot p(0)$$

$$p_2(2) = p(0) \cdot p(2) + p(1) \cdot p(1) + p(2) \cdot p(0)$$

$$p_2(3) = p(0) \cdot p(3) + p(1) \cdot p(2) + p(2) \cdot p(1) + p(3) \cdot p(0)$$

$$p_2(4) = p(0) \cdot p(4) + p(1) \cdot p(3) + p(2) \cdot p(2) + p(3) \cdot p(1) + p(4) \cdot p(0)$$

$$p_2(5) = p(0) \cdot p(5) + p(1) \cdot p(4) + p(2) \cdot p(3) + p(3) \cdot p(2) + p(4) \cdot p(1) + p(5) \cdot p(0)$$

Operando así hasta la demanda “d” que se tenga en consideración para la simulación.” (Pistarelli, 2010, pág. 556-557)

Por otra parte, está establecido que λ corresponde a la *Tasa de Fallas.* La Tasa de Fallas (λ) según Pistarelli es un parámetro que se define como “la probabilidad condicional de que una determinada pieza que ha funcionado satisfactoriamente hasta un tiempo *t* sufra un fallo en un instante de tiempo siguiente $[t + \Delta t]$” (Pistarelli, 2010, pág. 30). Para el caso de esta distribución se expresa como en la Ecuación 3.

$$\lambda = \frac{1}{MTTF}$$

Fuente: Manual de Mantenimiento (Pistarelli), 2010

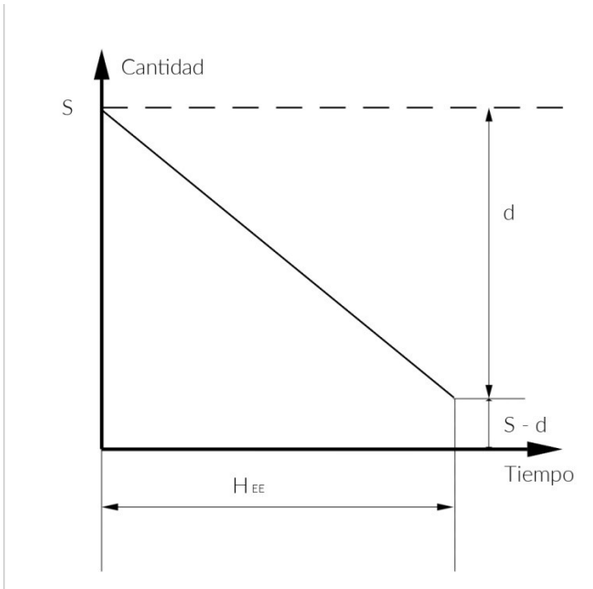
Ecuación 3. Tasa de Fallas para distribución específica

Donde 1 es un valor constante y **MTTF** es el periodo o tiempo medio para la falla.

“En la distribución de Poisson λ es el número promedio de eventos por unidad de tiempo” (Arroyo, Bravo, Llinás, Muñoz., 2014, pág. 100)

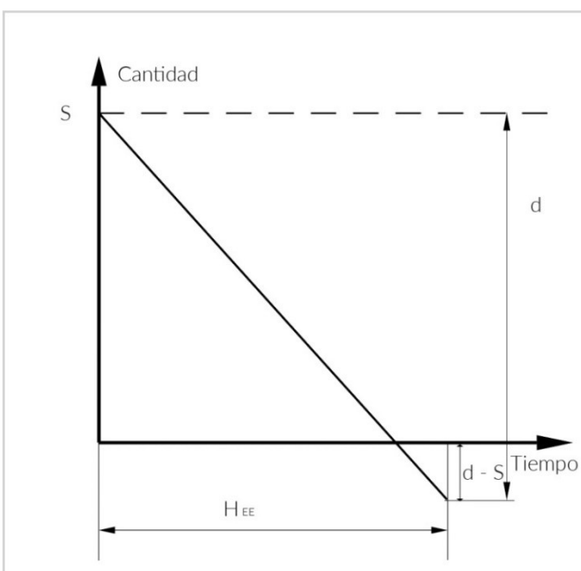
El *Tiempo Medio para la Falla (MTTF)* es un parámetro que “indica en promedio con qué frecuencia se produciría la falla de un repuesto.” (Pistarelli, 2010, pág. 28)

También cabe mencionar que en cuanto a la demanda se pueden dar dos situaciones con respecto a ella, la subdemanda que provoca el excedente para un repuesto (Gráfico 1-1) y la sobredemanda que provoca la falta de un repuesto (Gráfico 2-1).



Fuente: Elaboración Propia, 2021

Gráfico 1-1. Gráfica Subdemanda



Fuente: Elaboración Propia, 2021

Gráfico 2-1. Gráfica Sobredemanda

Consideraciones del Modelo Probabilístico que se indican en el Manual de Mantenimiento

- Se evalúa un único repuesto por cada análisis de decisión.

- La demanda del repuesto (d) es independiente y puede ser representada a través de una función de distribución de probabilidades p(d).
- El horizonte de evaluación económica es único y vale H_{ee}.
- El costo unitario por excedente para H_{ee} es C_{Ex}.
- Se compra el repuesto por única vez al inicio del periodo H_{ee}.
- La cantidad óptima por tener del ítem para todo H_{ee} es S.
- Se produciría un impacto económico desfavorable (lucro cesante o penalización) por cada unidad faltante (ruptura de stock) representado por la variable C_{Rup}.
- El costo anual de tenencia (almacenamiento o mantenimiento) por unidad es H. (Pistarelli, 2010, pág. 554)

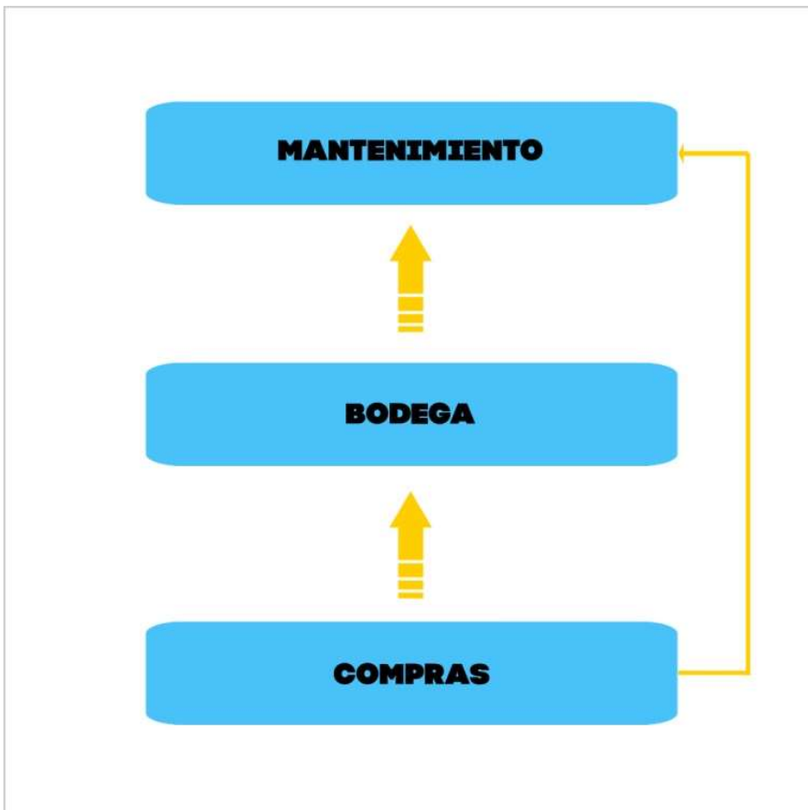
El modelo se utiliza para repuestos que tienen baja rotación y alto precio, cuya demanda es incierta y que puede describirse por una función de densidad de probabilidades. Dichos repuestos integran el Conjunto A según el estudio ABC ya descrito.

1.1.5 GESTIÓN DE LA BODEGA MATRIZ

Acá se describen algunos conceptos administrativos de importancia en cuanto a la gestión de la bodega matriz.

1.1.5.1 Relaciones administrativas de la bodega matriz

Generalmente las bodegas o almacenes de repuestos dependen del Departamento de Mantenimiento y esta no es la única relación administrativa que tiene una bodega, sino que también tiene relación directa con el Departamento de Compras que es el responsable de evaluar y aceptar las Órdenes de Compra (OC). A continuación, se presenta la Figura 1-1 del esquema que explica mejor estas relaciones



Fuente: Elaboración Propia, 2021

Figura 2-1. Esquema relaciones administrativas

1.1.5.2 Descentralización de Bodegas

De acuerdo con lo mencionado por Pistarelli: "El modelo funcional señala que es preciso tener varios almacenes descentralizados, dado que esto está impuesto por la ubicación física de los activos que no solo se presentan en la Bodega Matriz, sino que existen otras pequeñas bodegas en faenas dispuestas a lo largo del país. Es por eso, que con este esquema existen varias Unidades Productivas ubicadas en zonas geográficas alejadas. Cada una de ellas debe conservar la mayor parte de los repuestos que necesita. Para el caso de los repuestos específicos de baja rotación y alto costo puede optarse por una política de ítem compartido, lo que significa que, a modo de ejemplo, si un mismo tipo de máquina está en más de una faena y la evaluación económica de riesgo (Método del Modelo Probabilístico) para alguno de sus repuestos específicos indica que es necesario mantener en stock una unidad, posiblemente no sea necesario que todas las bodegas mantengan el mismo repuesto en stock. Sólo bastaría con que en uno de ellos esté físicamente localizado y que en caso de necesitarlo pueda enviarse de una unidad productiva a otra al debido tiempo." (Pistarelli, 2010, pág. 562)

1.1.5.3 Criterios de Almacenamiento

Los criterios de almacenamiento son principalmente cuidados que se deben considerar al momento de almacenar para tener en óptimas condiciones los repuestos presentes. "A continuación, se muestran algunas de las condiciones mínimas de almacenamiento y/o mantenimiento para repuestos típicos de una bodega

- Los rodamientos deben mantenerse en ambientes secos, limpios y libres de vibraciones.
- Las piezas mecánicas de precisión deberán estar recubiertas con grasa y envueltas en cartón, poliestireno u otro material que las proteja de posibles impactos.
- Los lubricantes y combustibles merecen un tratamiento especial. Deben almacenarse en depósitos que cumplan con las normas referidas al cuidado del medio ambiente.
- Los productos químicos deben localizarse en lugares ventilados que satisfagan las normas de seguridad y medio ambiente establecidas y estar aislados del resto de las existencias de uso común." (Pistarelli, 2010)

Otro criterio por considerar es la localización o ubicación física de cada existencia. Se deben distribuir según su grado de rotación, por lo que las existencias con mayor rotación deben estar próximas a las zonas de despacho y por otro lado las de menor rotación deben y pueden estar en lugares menos accesibles. Esto trae beneficios como cita "La distribución inteligente de las existencias mejora el tiempo de trabajo y el aprovechamiento de espacios sin dejar de lado las condiciones mínimas de almacenamiento antes descritas." (Pistarelli, 2010, pág. 563)

Es recomendable que cada ubicación esté codificada por un código alfanumérico como identificación para la facilitación de la localización de cualquier existencia dentro de la bodega. Esta modalidad recibe el nombre de Código Interno de Ubicación Física.

1.2 ANTECEDENTES GENERALES

1.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

TRANSPORTES CVU es una empresa que se ha dedicado desde el año 1996 hasta la actualidad a prestar servicios de transporte a lo largo de todo el país. Cuenta con 2 tipos de servicios enfocados a distintos objetivos, uno de turismo y otro industrial. El primero de ellos se dedica al transporte de turistas por distintos sectores del país que dependen del acuerdo y contrato con el cliente; el segundo, al traslado de personal para las diferentes faenas de la gran minería y algunos proyectos de construcción.

En la actualidad TRANSPORTES CVU está presente en 13 diferentes zonas del país, las cuales son: Iquique, Mejillones, Antofagasta, Calama, D. de Almagro, Copiapó, Potrerillos, Caserones, Catemu, Los Andes, Quillota, Alto Maipo y Rancagua. Esta empresa cuenta con una numerosa y sofisticada flota de vehículos mayores equipados y adaptados para los distintos tipos de rutas, climas y condiciones para poder enfrentarlos de la mejor manera y cumplir con su servicio.

1.2.1.1 Ubicación

La Casa Matriz de Transportes CVU se encuentra ubicada en:

- Parcela El Peuco, Lote 2, kilómetro 12, La Cruz, Quillota, Región de Valparaíso.

Fuente: Google Maps

Figura 3-1. Imagen satelital “Bodega Matriz Transportes CVU”

1.2.2 BODEGA CASA MATRIZ

TRANSPORTES CVU posee una Bodega Matriz que se encuentra ubicada en su casa matriz. Esta bodega, estructuralmente, es un galpón cerrado y posee baños, comedor, un espacio común donde trabaja el Encargado de bodega y los operadores y también cuenta con un segundo piso que tiene el objetivo de mantener almacenados algunos repuestos.

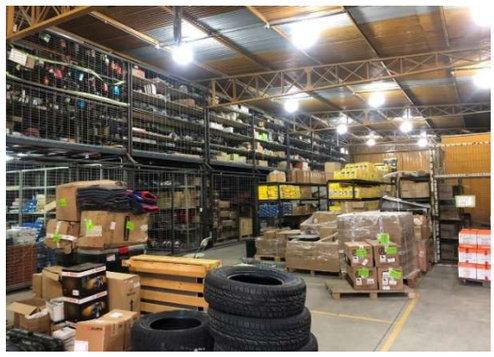
El funcionamiento de esta bodega es descentralizado, dado que los activos (buses) no sólo están en la casa matriz, sino que en todos los lugares donde están las faenas y se presta el servicio de la empresa. Imponiendo así que sea preciso que haya bodegas más pequeñas en dichos lugares para satisfacer a los también pequeños, talleres mecánicos presentes ahí mismo. Estas bodegas anexas solicitan las existencias que requieren por medio de un documento llamado SOLPE, enviándolo a la bodega matriz para que esta satisfaga el pedido a través de un despacho. Este documento y procedimiento se verá más adelante.

Las relaciones administrativas de esta bodega en particular también están vinculadas directamente con el Departamento de mecánica y mantenimiento y el Departamento de compra y adquisiciones. Departamentos que requieren de la labor de bodega para cumplir con el mantenimiento de activos, y que evalúan y autorizan las compras que requiere bodega para reposición de cualquier existencia, respectivamente

Por otro lado, la bodega tiene el objetivo principal de almacenar y mantener las distintas existencias para que tengan durabilidad durante el tiempo que se almacenan y se conserven para que estén en óptimas condiciones para ser reemplazados. Como también los objetivos de suministrar las existencias de manera efectiva, impedir la compra y almacenamiento de repuestos obsoletos, y finalmente conseguir la Máxima Disponibilidad posible y la reducción al mínimo posible del Nivel de Existencias. Cabe destacar que esta bodega no cumple con los *criterios de almacenamiento* que se sugieren teóricamente.

En esta bodega también es donde se ejecutan los procedimientos de Recepción, Almacenamiento, Inventario, Despacho, Distribución y Adquisición y Compra que también forman parte de la gestión. Estos se llevan a cabo para que las distintas existencias cumplan su único objetivo de reemplazar a futuras piezas defectuosas y que se logre de la manera correcta.

Existen principalmente 4 Familias de existencias que se distinguen en el interior de la Bodega, las cuales están dispuestas en ella de forma ordenada y separadas unas de otras, para qué ubicarlas sea más factible. Estas 4 Familias están compuestas por Artículos de Aseo, Elementos Para Protección (EPP), Repuestos y Herramientas. Los que tienen distintas ubicaciones entre la primera y segunda planta dentro de la bodega.



Fuente: Elaboración propia, Año 2019

Figura 4-1. Fotografía "Bodega Casa Matriz CVU"

Como se mencionó anteriormente la Figura 4-1 muestra el interior de la bodega, la cual es un galpón que tiene un sector abierto y amplio donde se encuentran las zonas de recepción y despacho como también se puede ver la segunda planta donde se encuentran los departamentos de repuestos que se mencionan más adelante.

1.2.2.1 Primera Planta

En la primera planta se encuentran las zonas donde están ubicados los Elementos de Protección Personal, Artículos de Aseo, Estanterías de Filtros y la Zona de Recepción y Despacho.

Fuente: Elaboración propia, Año 2019

Figura 5-1. Fotografía "Ubicación EPPs"

Esta zona está ubicada en la primera planta, específicamente debajo del sector de segunda planta. Tiene una superficie aproximada de 30 m^2 que contiene pallets en donde se organizan y guardan las diferentes cajas llenas de uniformes, parkas, chalecos reflectantes entre otras existencias que forman parte de los EPP. Esta zona también contiene estanterías donde se organizan otras cajas con existencias de menor tamaño como lentes para protección visual, cascos de seguridad, guantes, zapatos de seguridad que se pueden apreciar en la Figura 5-1 (cajas rojas) entre otros. En Anexo A está en detalle todas las existencias que forman parte de los EPP. Cabe destacar que los EPP son usados por los choferes, mecánicos y personal en general que están dispuestos en las distintas instalaciones de la empresa.

Fuente: Elaboración propia, Año 2019

Figura 6-1. Fotografía "Ubicación Artículos de Aseo"

La ubicación de Artículos de Aseo colinda con la de EPP anteriormente descrita. Su superficie es de 30 m^2 y posee estanterías como se ve en la Figura 6-1, donde se organizan distintas cajas contenedoras de las existencias ligadas a los Artículos de Aseo de las cuales algunas son desinfectantes líquidos, desinfectantes en aerosol, cloro y paños de limpieza entre otros.

Fuente: Elaboración propia, Año 2019

Figura 7-1. Fotografía "Ubicación Estante de Filtros"

Estos Estantes de Filtros se encuentran en la primera planta por detrás de la Zona de Recepción y Despacho (Figura 7-1) y contienen los filtros de aire y aceite.

Fuente: Elaboración propia, Año 2019

Figura 8-1. Fotografía "Ubicación Zona de Recepción y Despacho"

Esta zona denominada de Recepción y Despacho está ubicada en la primera Planta justo en la entrada al galpón con el objetivo de facilitar la recepción y despacho de las existencias, dado que es ahí donde llega el transporte encargado de traer y llevar dichos ítems. Es un espacio abierto y presenta delimitaciones de color amarillo en el suelo para diferenciar y encerrar los diferentes lotes de ítems que pueden corresponder a una recepción o un despacho como se aprecia en la Figura 8-1.

1.2.2.2 Segunda Planta

En la segunda planta se encuentran solo repuestos, que están ubicados en distintos estantes y separados en diferentes Departamentos para clasificar y agrupar las existencias que tienen similares características para facilitar encontrarlos. Los Departamentos son: de Carrocería, de Dirección, Eléctrico, de Filtros, de Frenos, de Suspensión, de Mangueras, de Motor y de Rodamientos.

Fuente: Elaboración propia, Año 2019

Figura 9-1. Fotografía “Ubicación Repuestos”

Es un espacio aproximadamente de 90 m^2 a un costado del interior del galpón. En él se ubican todos los estantes que contienen los repuestos en diferentes ubicaciones con denominación única y etiquetadas con un rotulo verde, como muestra la Figura 9-1.

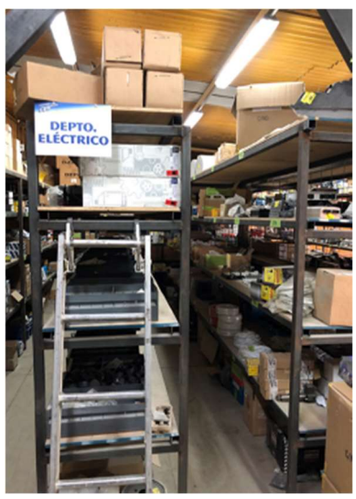
Fuente: Elaboración propia, Año 2019

Figura 10-1. Fotografía “Departamento Carrocería”

A modo de explicar las diferencias entre los repuestos de Carrocería y los de Chasis consisten en que los primeros corresponden a todos aquellos que son usados en la estructura externa es decir que es observable, en cambio los segundos corresponden a la estructura interna la que integra y sujeta los componentes mecánicos del bus (activo).

Fuente: Elaboración propia, Año 2019

Figura 11-1. Fotografía “Departamento Dirección”



Fuente: Elaboración propia, Año 2019

Figura 12-1. Fotografía “Departamento Eléctrico”

Fuente: Elaboración propia, Año 2019

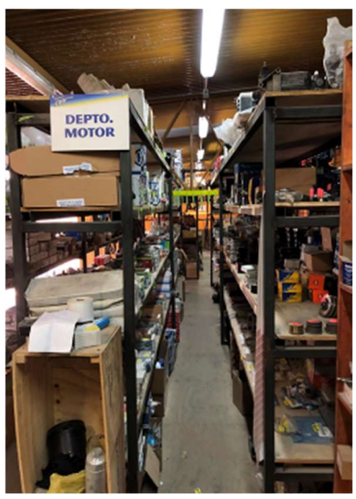
Figura 13-1. Fotografía “Departamento Filtros”

Fuente: Elaboración propia, Año 2019

Figura 14-1. Fotografía “Departamento Frenos y Suspensión”

Fuente: Elaboración propia, Año 2019

Figura 15-1. Fotografía “Departamento Mangueras”



Fuente: Elaboración propia, Año 2019

Figura 16-1. Fotografía “Departamento Motor”

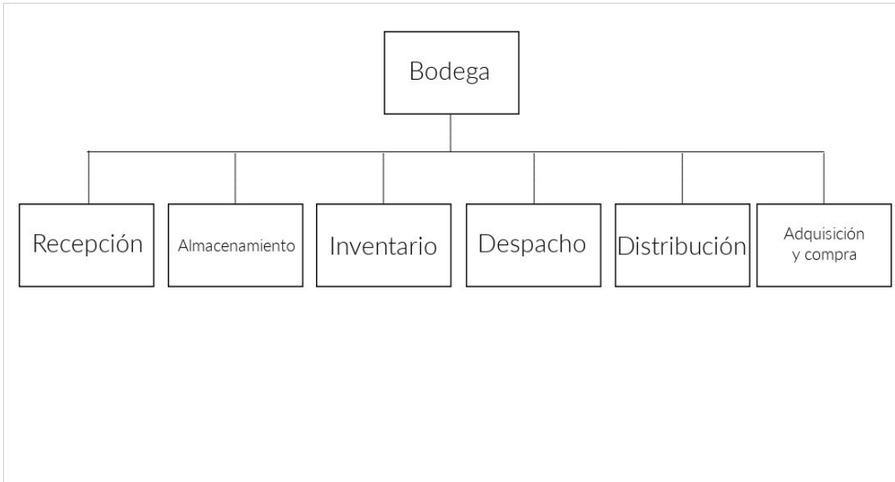
Fuente: Elaboración propia, Año 2019

Figura 17-1. Fotografía "Departamento Rodamientos"

Desde la Figura 11-1 hasta la Figura 17-1 correlativamente se muestran los diferentes departamentos de repuestos para agrupar aquellos que tienen características similares entre sí. Se puede confirmar que cada ubicación esta etiquetada con el rotulo verde y su Código Interno de Ubicación Física para diferenciarla y demarcada para notar el espacio que tiene a disposición para contener los repuestos, y así evitar que se mezclen y confundirlos con los de las otras ubicaciones adyacentes a ella.

1.2.3 EJECUCIÓN DE PROCEDIMIENTOS EN BODEGA

La Gerencia de Operaciones Bodega es la responsable y encargada de los procedimientos. Dentro de la bodega estos se ejecutan para llevar a cabo los objetivos que tiene la bodega. Tal como ya se mencionó, los diferentes procedimientos presentes son: de Recepción, de Almacenamiento, de Inventario, de Despacho, de Distribución y de Adquisición y Compra. A continuación, en la Figura 18-1 se puede ver un mapa conceptual con los diferentes procedimientos de bodega, posterior a esta, se describe cada uno de ellos.



Fuente: Elaboración Propia, 2021

Figura 18-1. Mapa conceptual procedimientos

1.2.3.1 Procedimiento de Recepción

Este es el primer procedimiento que se realiza dentro de la bodega y aborda tanto las recepciones de las distintas solicitudes de pedidos (SOLPES) que son emitidas desde las distintas bodegas que se encuentran en otras faenas como las que son enviadas directamente desde el taller mecánico. Las SOLPES son unos documentos donde se solicita principal y específicamente el ítem necesario, la cantidad requerida y el motivo de la solicitud. Estas son una planilla Macro de Excel que se completa con lo dicho anteriormente, como se puede observar en el Anexo A.

Este procedimiento también considera los remitos de las compras que son decretadas por las Órdenes de Compra (OC) cuando hay ruptura de stock; es decir, al no tener la existencia solicitada y cuando se necesita abastecer el stock al llegar el tiempo de pedido.

Se revisa el pedido recibido para ver el estado y condiciones en las que se encuentra y así ser aceptado o rechazado. Finalizada dicha revisión se procede a ingresar de forma detallada la información y cantidad de lo que se recepcionó al sistema de control de existencias.

También se reciben las devoluciones que ocurren en algunas ocasiones por consecuencia de no ser la existencia solicitada o presentar mal estado. Esta debe ser realizada a través de un Vale de Devolución del sistema y cumplir con las condiciones establecidas para este procedimiento.

1.2.3.2 Procedimiento de Almacenamiento

Luego de la Recepción, el ítem o existencia se deriva a la ubicación que le corresponde según su categoría y clasificación. También en este procedimiento se analiza si las existencias solicitadas por medio de las SOLPE están presentes dentro del stock o en su defecto tienen que ser adquiridas por medio de una compra o adquisición para cumplir con su posterior despacho al taller donde son solicitadas. Es parte fundamental de este procedimiento mantener el orden y limpieza en todas las ubicaciones de almacenamiento.

1.2.3.3 Procedimiento de Inventario

Este procedimiento cumple con el objetivo de contabilizar, una vez al año, todas las existencias presentes, para observar y saber con precisión qué es aquello con lo que se cuenta; asimismo, permite conocer si se poseen existencias que están obsoletas.

1.2.3.4 Procedimiento de Despacho

Este procedimiento aborda y concreta los envíos de las existencias solicitadas al taller/bodega de faena de donde proviene la SOLPE. El encargado de bodega es el responsable de autorizar el despacho. Luego de la entrega al despachador se debe ingresar al sistema el gasto de stock para mantener actualizado el registro.

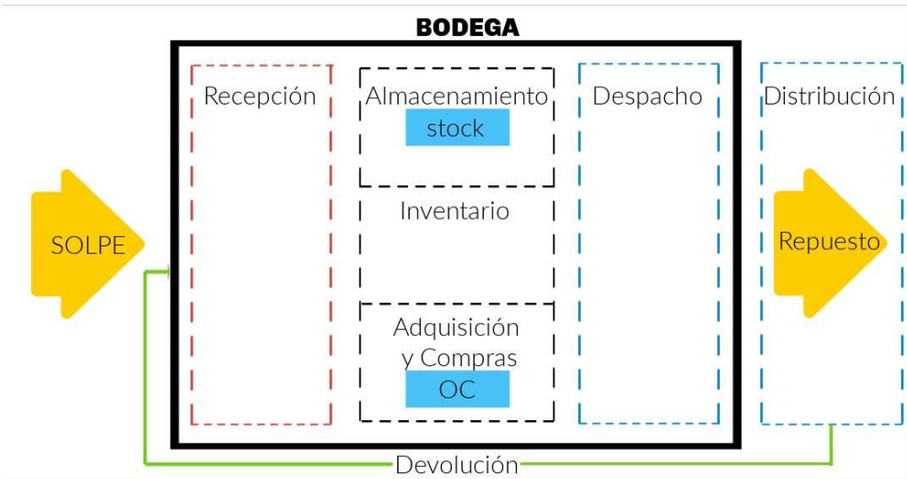
1.2.3.5 Procedimiento de Distribución

Se asegura que el despacho haya llegado al destino correcto siguiendo la trazabilidad de este mismo. También en este procedimiento se analiza el modo en que será enviada o despachada las existencias solicitadas.

1.2.3.6 Procedimiento de Adquisición y Compra

Al momento de recibir la SOLPE y verificar que la existencia solicitada no está en stock, se continua con este procedimiento. Primero se realiza y analiza una pequeña cotización de la existencia buscada a proveedores propios. Luego de escoger la mejor opción de proveedor la solicitud es ingresada a una fila de compras. Al momento de llegar al turno de la compra, se realiza la OC y por tanto esta se concreta. Después de esto al llegar la compra le sigue el procedimiento de Recepción y Despacho ya descritos.

Para finalizar se puede observar en la Figura 19-1 como estas operaciones interactúan entre sí y en qué momento actúa cada una de ellas.



Fuente: Elaboración propia, Año 2021

Figura 19-1. Esquema "Operaciones de Bodega"

1.2.4 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La problemática a la cual se busca dar solución por medio de las metodologías aplicadas por este trabajo, básica y generalmente, es la falta de estrategias dentro de la bodega para obtener una mejor administración de las existencias almacenadas y una mejor economía, entendiendo esta como la administración de bienes que compone la riqueza de la empresa.

En esta sección se describen, específicamente, cuatro problemas presentes a los cuales se busca dar soluciones como mejoras administrativas y económicas por medio de la Gestión de Repuestos.

El primer problema captado consiste en la falta de un inventario general actualizado (la última actualización fue el año 2017) y completado con información útil para la administración y el conocimiento de cuáles y cuantas son las existencias almacenadas. Su solución es realizar un inventario considerando parámetros de interés.

El segundo problema observado fue que sólo 3 tipos de neumáticos poseen un código en vez de la totalidad de las existencias. Sabiendo que teóricamente la codificación es importante para la administración, por lo tanto, su solución es realizar la codificación a todos los repuestos.

El tercer problema se evidencia en que sólo hay 7 departamentos, o también denominados clases o clasificaciones, de repuestos que no contemplan toda las variedades o diferencias de estos, siendo estos departamentos muy generales y abarcando poca información. Su solución es crear más clasificaciones a través de la clasificación.

Por último, no existe o no se define el *Modelo de Reposición o de Control de Inventario* que en este caso específico corresponde el *Modelo Probabilístico,* debido a que la demanda de los repuestos de menor rotación es completamente incierta. La solución es implementar o aplicar este modelo a los repuestos de menor rotación, que son los de principal interés, dado que son los que tienen mayor valor económico y por lo tanto son de primordial evaluación.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍAS

2.1 METODOLOGÍAS

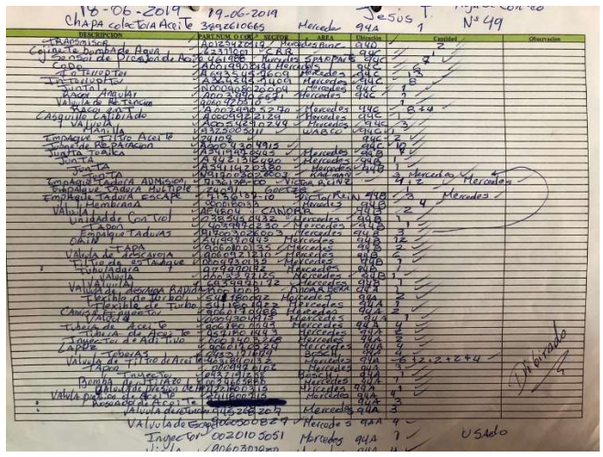
A continuación, se describen todos los métodos que fueron usados para llegar a cumplir los objetivos específicos de la gestión.

2.1.1 CLASIFICACIÓN

2.1.1.1 Inventario

Para realizar la clasificación que se especificó en el primero objetivo de este trabajo, fue necesario ejecutar previamente un inventario con la finalidad de recopilar la información útil para clasificar. Procedimiento que consiste en percatar y contar todas las existencias que estén presentes dentro de la bodega sin excepción, con el objetivo de conocer cuáles son y cuantas cantidades hay de cada una. Este se organizó de manera tal que se empleó 6 recursos humanos, 3 de ellos fueron bodegueros por lo que tenían más conocimiento respecto a las existencias y sus ubicaciones, siendo de gran ayuda y los otros 3 fueron de apoyo, incluyéndome. Cada uno se dispuso en diferentes ubicaciones al interior de la bodega que previamente fueron establecidas y así evitar que se contaran existencias dos veces de una misma ubicación, es decir que hubiera una duplicidad en el conteo de las existencias, como también lograr simultaneidad al contar y así aprovechar de mejor manera el tiempo. A la vez, se fue registrando de forma manual cada ítem en una hoja que contenía una tabla formato planilla, la cual contemplaba los parámetros considerados para la Catalogación.

Luego de finalizar completamente con esta parte del procedimiento, toda la información recopilada e inscrita de manera manual fue traspasada digitalmente a una planilla en Excel con el objetivo de utilizar los datos de mejor manera. En la Figura 1-2 a continuación, se puede evidenciar el trabajo que se acaba de describir.



Fuente: Elaboración propia, 2021

Figura 1-2. Inventario manual

2.1.1.2 Valorización de inventario

Para la Valorización primeramente se debe mencionar que una mínima parte de las existencias fue valorizada por medio de la búsqueda de su valor en los registros históricos de todas las *OC*. Esto resultó de hacer coincidir el *OEM* o *part number* del inventario con el del registro de las *OC*, utilizando Excel y la formula BUSCARV para encontrar dichas coincidencias. Esto se refleja en la Tabla 1-2.

N°	Descripcion	Part Number	Coincidencia	Valor OC
867	Elemento filtro aire interior Volvo	VO-21041296	VO-21041296	$ 45.350
871	Elemento filtro aire MB	A0000903751	A0000903751	$ 27.916

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Tabla 1-2. Registro OC

El resto de los repuestos, ósea la mayor parte de ellos tuvo que ser cotizada en el mercado para encontrar su valor.

2.1.1.3 Clasificación

Para lograr la clasificación, se empleó el método que consiste en crear un criterio propio. Este criterio busca crear diferentes clasificaciones que logren reunir a los repuestos que compartan características iguales o similares para diferenciarlos en clases. También este, se basó en los datos obtenidos del inventario que mostraron cuales eran los repuestos presentes y cuales tenían características coincidentes. Y finalmente, se usó como referencia y apoyo los departamentos de repuestos que ya existían en la bodega y que se

presentaron en los antecedentes de este trabajo. Entonces siguiendo el criterio sugerente de la teoría para la *Clasificación* de todas las existencias, se tomaron en cuenta las siguientes clasificaciones:

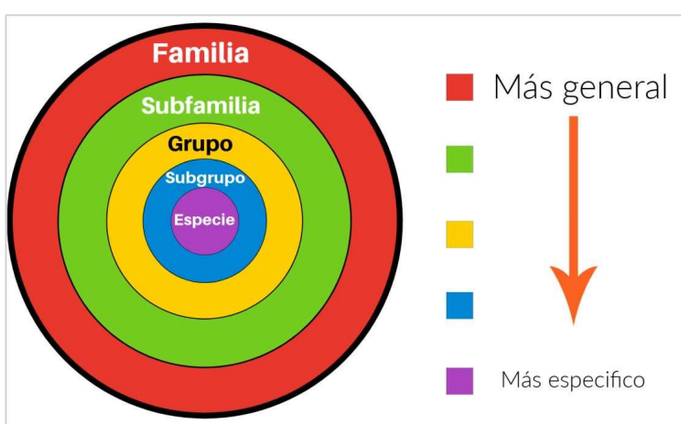
- ✓ Artículos de Aseo: Esta familia incluye todas las existencias que tienen el único fin u objetivo de limpiar

- ✓ Elementos de Protección Personal (EPP): Incluye todas aquellas existencias que tienen el fin u objetivo de ofrecer seguridad y protección, tanto como de accidentes, como del clima o cualquier evento que pueda provocar daño a personas

- ✓ Repuestos: Comprende todas las existencias que se consideran como reemplazables por otra igual y que son esenciales para que los diferentes activos se mantengan operativos

- ✓ Herramientas: Son todas aquellas existencias que se consideran instrumentos con el fin de apoyar o ayudar en cualquier tipo de trabajo

Todas estas clasificaciones se consideraron como el nivel básico y general de toda la *clasificación* y se le denominó "Familias". También, con el objetivo de hacerlas más específicas, este nivel se dividió en 4 subniveles denominados "Subfamilia", "Grupo, "Subgrupo" y "Especie". Siendo estos, correlativamente, de un nivel mayor a uno menor, o como también se puede decir de una manera cualitativa, de más general a más específico. Asimismo, se puede aclarar qué el nivel mayor es "Familias" y el menor es "Especie", esto se grafica en la Figura 2-2.



Fuente: Elaboración propia, 2021

Figura 2-2. Demostración Niveles de Clasificación

A modo de ejemplificar lo anterior, en la Tabla 2-2 se muestra la *clasificación* de un inyector de combustible, detallando estos diferentes niveles.

Descripción	N°	Familia	N°	Subfamilia	N°	Grupo	N°	Subgrupro	N°	Especie
Inyector Combustible	03	Repuesto	02	Chasis	02	Admisión	56	Inyector y comptes.	02	Inyector

Fuente: Elaboración propia, 2021

Tabla 2-2. Ejemplo Clasificación

A cada uno de estos niveles de clasificación se le asignó un número diferente para poder enumerarlos, el cual está constituido por dos dígitos. Esta numeración fue necesaria y utilizada también para darle originen a la composición del código que identificó particularmente a cada existencia, de una manera única. Lo anterior está relacionado a la *Codificación* que se señala a continuación.

2.1.2 CATALOGACIÓN

2.1.2.1 Codificación

En cuanto a la *Codificación* se consideró la numeración, que se mencionó en el párrafo anterior, para lograr definir y consolidar la estructura de los códigos. Esta estructura se definió con una letra, correspondiente a la inicial del nombre de la Familia a la cual pertenece. También 5 números de dos dígitos (o pares de números) pertenecientes a la numeración de cada uno de los niveles de clasificación los que, en el orden de izquierda a derecha, son correspondientes a las Familias, Subfamilias, Grupos, Subgrupos y Especies respectivamente, es decir, son correlativos al orden de mayor a menor con que se consideran dichos niveles. Y culmina con el Número de Ítem (asignado a cada ítem), dado por la enumeración de cada existencia del inventario general, distribuidas en orden alfabético. Para una mejor explicación de la estructura de código se muestra la Figura 3-2.

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Figura 3-2. Estructura de código

Para generar los códigos fue necesario realizar una planilla como la mostrada en la Tabla 3-2 con todos los pares de números que componen su estructura. Para que estos números se lograran acoplar en un solo código, se hizo uso de la formula **=CONCAT** en Excel que concatena una lista o rango de cadenas de texto como se observa en la columna denominada **Código Final**.

Número Item	1ra letra	1° par	2° par	3° par	4° par	5° par	Codigo Final
142	R	03	02	09	89	01	R0302098901142
143	R	03	02	09	89	01	R0302098901143
144	R	03	03	01	02	01	R0303010201144

Fuente: Elaboración propia, 2021

Tabla 3-2. Código definitivo

2.1.2.2 Parametrización de existencias

La parametrización se logró usando una sugerencia del libro que indica cuales son los parámetros que aportan información útil y certera de los diferentes repuestos. Se puede apreciar en la Figura 1-2 la hoja que contiene la tabla en formato planilla con los parámetros requeridos para una posterior catalogación. De izquierda a derecha los parámetros son **Descripción**, **Part Number** o **OEM**, **Marca**, **Ubicación** y **Cantidad**. La columna llamada **Observación** no era un parámetro, sino que se consideró para acotar cualquier anormalidad o interrogante con respecto a algunas existencias para posteriormente ser revisadas. Esta ficha se rellenó con la información de cada existencia inventariada.

2.1.3 OPTIMIZACIÓN DEL NIVEL DE EXISTENCIAS

2.1.3.1 Análisis ABC

Para lograr optimizar el nivel de algunas existencias mediante el modelo probabilístico se debió realizar un Análisis ABC. Cabe mencionar de manera anticipada que este análisis se aplicó solamente a la "Familia" de "Repuestos" porque es el enfoque de este trabajo. Esta clase era primordial y prioridad para la empresa Transportes CVU debido a la gran inversión que hay en repuestos y en consecuencia, al gran capital que esto genera.

Para este análisis se utilizó una planilla de Excel en donde se listaron todos los repuestos con su respectivo **Número de ítem**, **Descripción**, **Part number**, **Stock** y **Valor Neto**. Luego para cada uno de los repuestos se multiplicó su **Stock** por su **Valor Neto** a modo de obtener su **Valor Total**. Lo que se puede interpretar como, el dinero que aporta el **Stock** de un repuesto a la sumatoria de **Valor Total** de todos los repuestos presentes. Los resultados de la multiplicación mencionada anteriormente, es decir los ***valores totales***, se ordenaron de manera descendente, de mayor a menor, con el fin de saber cuáles son los repuestos de mayor valor o tienen mayor inversión, ubicándolos en primera posición como se puede ver en la Tabla 4-2.

N° Item	Descripcion	Part Numb	Stock	Valor Neto	Valor Total
1412	Rodamiento de empuje	6482000155	15	$ 388.029	$ 5.820.435
761	Filtro separador de agua c/purga del combustible	PSD460/1	510	$ 11.090	$ 5.655.900
872	Inyector Combustible	21644596	11	$ 509.709	$ 5.606.801
1182	POLEA MOTRIZ D304 8PK	AGRMOT0385	19	$ 263.890	$ 5.013.910
1838	VISCOSO Embrague - ventilador de enfriamiento	A3842000027	3	$ 1.490.902	$ 4.472.706

Fuente: Elaboración propia, 2021

Tabla 4-2. Valor Total descendente

Siendo el rodamiento de empuje el que presentaba el mayor **Valor Total** y desde ahí comienzan a descender.

Asimismo, se observa en la Tabla 5-2 que el **Valor Total** de cada repuesto (en azul) se dividió por la suma **TOTAL** de los ***valores totales*** (en rojo) para obtener el **Valor Total Relativo** (en verde). Luego se realizó una suma acumulativa desde el primer **Valor Total Relativo** hasta el último en una nueva columna para obtener el **Valor Total Relativo Acumulado** (en amarillo).

N° Item	Descripcion	Part Numb	Stock	Valor Neto	Valor Total	Valor Total Relativo	Valor Total Relativo Acumulado
1412	Rodamiento de empuje	6482000155	15	$ 388.029	$ 5.820.435	1,09034%	1,0903%
761	Filtro separador de agua c/purga del combustible	PSD460/1	510	$ 11.090	$ 5.655.900	1,05951%	2,1499%
872	Inyector Combustible	21644596	11	$ 509.709	$ 5.606.801	1,05032%	3,2002%
1182	POLEA MOTRIZ D304 8PK	AGRMOT0385	19	$ 263.890	$ 5.013.910	0,93925%	4,1394%
1838	VISCOSO Embrague - ventilador de enfriamiento	A3842000027	3	$ 1.490.902	$ 4.472.706	0,83787%	4,9773%
TOTAL					$ 533.820.115		

Fuente: Elaboración propia, 2021

Tabla 5-2. Valor Total Relativo, Valor Relativo Acumulado

El **Valor Total Relativo Acumulado** permitió reconocer cuales, y cuantos repuestos contribuyen el 80%, 15% y 5% del **TOTAL** de los ***valores totales***, que según indica la teoría corresponden a los conjuntos A, B y C respectivamente, concretando también así la calificación de *menor rotación* para los repuestos que pertenecen al conjunto A, tal como se menciona en el Manual de Mantenimiento que "Finalmente en el grupo A, estarán los repuestos específicos y universales de mayor valor económico" (Pistarelli, 2010, pág.545).

Para conocer las cantidades de repuestos que cada conjunto tenía, se utilizó la formula condicional **=SI** que comprueba si se cumple una condición y devuelve un valor si se evalúa como VERDADERO y otro valor si se evalúa como FALSO. Por lo tanto, se usó la condición de que si el **Valor Total Relativo Acumulado** era menor o igual a 80% pertenecería a A, si era mayor al 80% pero menor o igual al 95% pertenecería a B o si no cumplía ninguna de estas condiciones pertenecería a C, logrando formar la siguiente formula: **=SI(I2<=0,8;"A";SI(I2<=0,95;"B";"C"))**. Esto se aprecia en la columna "ABC" de la Tabla 6-2.

N° Item	Descripcion	Stock	Valor Neto	Valor Total	Valor Total Relativo	Valor Total Relativo Acumulado	ABC	% de Conjunto
817	Fuelle	24	$ 10.502	$ 252.048	0,04753%	79,9120%	A	
1559	SOPORTE ALTERNADOR	4	$ 62.990	$ 251.960	0,04751%	79,9595%	A	79,96%
1654	Telecomando	9	$ 27.883	$ 250.944	0,04732%	80,0068%	B	15,04%
1232	Radiador	1	$ 250.379	$ 250.379	0,04721%	80,0540%	B	

Fuente: elaboración propia, 2021

Tabla 6-2. Pertenencia a conjuntos y % de conjunto

Una vez conocidas, las cantidades de repuestos que componen los conjuntos A, B y C fueron divididas por la *cantidad total de repuestos* para así obtener el porcentaje que hay por cada conjunto (ABC) que se logra ver también en la Tabla 6-2 en la columna "% de Conjunto". Esto tiene el objetivo de representar de manera simple que parte del total de repuestos constituyen los conjuntos ya mencionados.

2.1.3.2 Determinación de existencias con menor rotación

Se determinaron los repuestos de *menor rotación* según lo mencionado anteriormente, ósea, por las características que presentan los repuestos pertenecientes al Conjunto A. Se da mayor importancia a estos repuestos dado que al ser los de mayor valor contribuyen mayoritariamente al total del inventario valorizado por tanto podrían generar un gran impacto en la inversión frente a cualquier cambio realizado, siendo positivo si se logra una buena gestión. Ese es el motivo por el cual sobre estos se aplica el *Modelo Probabilístico,* para obtener el *Nivel Óptimo de Existencias* y así disminuir costos y el capital ocioso.

2.1.3.3 Modelo Probabilístico

Primeramente, para aplicar el *modelo probabilístico* fue imprescindible obtener algunos datos. Estos datos o antecedes necesarios para realizar los cálculos que este modelo requiere son el Costo Unitario por Excedente (C_{Ex}) y Costo Unitario por Ruptura (C_{Rup}), el Tiempo Medio para la Falla (MTTF) y el Horizonte de Evaluación Económica (H_{EE}). Estos datos son propios y exclusivos de cada repuesto.

Para obtener el C_{Ex} se disminuyó 10% el valor del repuesto por concepto de reventa. Es decir, se consideró posible recuperar solamente un 90% del valor del repuesto al revenderlo pasado el H_{EE}.

El C_{Rup} se traduce como las perdidas por quiebre de stock al no realizarse el servicio ofrecido al cliente, situación que se penaliza por un valor equivalente a $500.000, penalización que tiene el mismo valor en todo momento, por lo tanto, se considera el mismo C_{Rup} para todas las situaciones o casos.

Los valores de MTTF fueron solicitados y otorgados por el Taller de mantenimiento de la Casa Matriz.

Por otra parte, el H_{EE} es constante y por ende es el mismo para todos los repuestos, debido a que los activos (buses) sólo operan 5 años antes de darlos de baja.

Una vez obtenidos estos datos se procedió a calcular la Tasa de Fallas (λ) mediante la Ecuación 3. Como se mencionó en el marco teórico, para este caso de distribución exponencial, λ toma un valor constante igual a:

$$\lambda = \frac{1}{MTTF}\left[\frac{fallos}{años}\right]$$

Fuente: Manual de Mantenimiento (Pistarelli), 2010

Ecuación 3. Tasa de Fallas para distribución exponencial

Lo que se puede traducir como el número o valor promedio de fallos que se esperan por unidad de tiempo.

Al tener λ, se pudo calcular la Función de Densidad de Probabilidad $\mathrm{p(d)}$ (a partir de la Ecuación 2). $\mathrm{p(d)}$ está basada en la Distribución de Poisson que considera, para este caso particular, la variable aleatoria discreta como "d: demandar unidades" y que sus valores son números enteros. Entonces se puede decir que la probabilidad de d en un periodo $\mathrm{H_{EE}}$ está dada por:

$$p(d) = \frac{(\lambda H_{EE})^d \cdot e^{-\lambda H_{EE}}}{d!}$$

Fuente: Manual de Mantenimiento (Pistarelli), 2010

Ecuación 2. Función de Densidad de Probabilidad

$\lambda\mathrm{H_{EE}}$ es el valor promedio de fallas esperadas en el periodo $\mathrm{H_{EE}}$ y $\mathrm{e^{-\lambda H_{EE}}}$ es la confiabilidad (probabilidad que un repuesto no falle por un tiempo dado).

Esto se concluye de $p(x) = \frac{(\lambda t)^x \cdot e^{-\lambda t}}{x!} \rightarrow p(0) = e^{-\lambda t}$, lo que quiere decir que la probabilidad de que no haya ningún fallo en t (confiabilidad) es $e^{-\lambda t}$.

Por tanto, se puede analizar que esta función de densidad de probabilidad considera la ocurrencia de una falla y la no ocurrencia. Lo cual es lógico para encontrar un resultado bien simulado.

La $\mathrm{p(d)}$ se calculó para una demanda de 0 a 10 unidades.

Otra situación que sucede y se verá en este trabajo con respecto a la $\mathrm{p(d)}$ también, es cuando un repuesto es usado por 2 activos. Ante esta situación, y como se menciona en el marco teórico, la $\mathrm{p(d)}$ cambia a $\mathrm{p_2(d)}$ al ser el producto de las probabilidades de cada activo. Entonces la Función de Probabilidad para 2 activos sería $\mathrm{p_2(d)}$ y queda expresada de la siguiente manera:

$$p_2(0) = p(0) \cdot p(0)$$
$$p_2(1) = p(0) \cdot p(1) + p(1) \cdot p(0)$$
$$p_2(2) = p(0) \cdot p(2) + p(1) \cdot p(1) + p(2) \cdot p(0)$$
$$p_2(3) = p(0) \cdot p(3) + p(1) \cdot p(2) + p(2) \cdot p(1) + p(3) \cdot p(0)$$
$$\dots$$

Así sucesivamente hasta llegar a $\mathrm{p}_2(10)$. Las $\mathrm{p(d)}$ que se observan son las calculadas previamente para un único activo.

Otra situación diferente y que tiene relación con la $\mathrm{p(d)}$ al igual que el caso anterior, es cuando un repuesto es usado por 3 activos. Ante esta situación, la $\mathrm{p(d)}$ cambia a $\mathrm{p}_3(\mathrm{d})$ al ser el producto de las probabilidades de los 3 activos. Entonces la Función de Probabilidad para 3 activos sería $\mathrm{p}_3(\mathrm{d})$ y queda expresada de la siguiente manera:

$$p_3(0) = p(0) \cdot p(0) \cdot p(0)$$
$$p_3(1) = p(1) \cdot p(0) \cdot p(0) + p(0) \cdot p(1) \cdot p(0) + p(0) \cdot p(0) \cdot p(1)$$
$$p_3(2) = p(2) \cdot p(0) \cdot p(0) + p(1) \cdot p(1) \cdot p(0) + p(0) \cdot p(2) \cdot p(0) + p(1) \cdot p(0) \cdot p(1) + p(0) \cdot p(1) \cdot p(1) + p(0) \cdot p(0) \cdot p(2)$$
$$p_3(3) = p(3) \cdot p(0) \cdot p(0) + p(2) \cdot p(1) \cdot p(0) + p(1) \cdot p(2) \cdot p(0) + p(0) \cdot p(3) \cdot p(0) + p(2) \cdot p(0) \cdot p(1) + p(1) \cdot p(1) \cdot p(1) + p(0) \cdot p(2) \cdot p(1) + p(1) \cdot p(0) \cdot p(2) + p(0) \cdot p(1) \cdot p(2) + p(0) \cdot p(0) \cdot p(3)$$
$$\dots$$

Así de la misma manera hasta $\mathrm{p}_3(10)$.

Ya con estos datos, se procedió a calcular a través de una plantilla como se muestra en la Tabla 7-2, los diferentes costos que considera este modelo.

d	p(d)	Stock (S)											
		0			1			2			3		
		CT_{Ex}	CT_{Rup}	CT(S=0)	CT_{Ex}	CT_{Rup}	CT(S=1)	CT_{Ex}	CT_{Rup}	CT(S=2)	CT_{Ex}	CT_{Rup}	CT(S=3)
0													
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Tabla 7-2. Plantilla para cálculos de CT(S)

El primero en calcularse fue el Costo Total por Excedente $\mathrm{CT_{Ex}}$ por medio de la Ecuación 1 (a). La cual es la sumatoria de las partes que forman este costo, como los

excedentes (S – d) que derivan de la subdemanda, el costo C_{Ex} asociado a esos excedentes y la probabilidad p(d) de que ocurra la subdemanda. Esta demanda o subdemanda se consideró de 0 a 10 unidades.

$$CT_{Ex}(S) = \sum_{d=0}^{S} (S - d)\, C_{Ex} p(d)$$

Fuente: Manual de Mantenimiento (Pistarelli), 2010

Ecuación 1 (a). Costo Total por Excedente de Stock

Posteriormente se calculó el Costo Total por Ruptura CT_{Rup} mediante la Ecuación 1 (b). Este costo nace de la sumatoria de los repuestos faltantes (d – S) que derivan de la sobredemanda, el costo C_{Rup} ligado a estos faltantes y la probabilidad que acontezca la sobredemanda. Esta demanda o sobre demanda también se consideró de 0 a 10 unidades.

$$CT_{Rup}(S) = \sum_{d=S+1}^{\infty} (d - S)\, C_{Rup} p(d)$$

Fuente: Manual de Mantenimiento (Pistarelli), 2010

Ecuación 1 (b). Costo Total por Ruptura de Stock

Finalmente se calculó el CT(S) a partir de la Ecuación 1, que es la suma de ambos costos CT_{Ex} y CT_{Rup}. Dado que todos estos costos están en función del stock S, se evalúan para distintos valores de S para ver el valor que tendrían estos, provocados por las distintas cantidades de unidades en stock. Los valores de S son 1, 2 y 3.

$$CT(S) = \sum_{d=0}^{S} (S - d)\, C_{Ex} p(d) + \sum_{d=S+1}^{\infty} (d - S)\, C_{Rup} p(d)$$

Fuente: Manual de Mantenimiento (Pistarelli), 2010

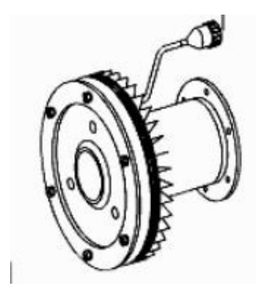
Ecuación 1. Costo Total en función de Stock probable

El objetivo que nos sugiere la teoría es escoger el menor o mínimo CT evaluado en los distintos S, porque ese valor indicará cual es el S óptimo, equivalente al *Nivel Óptimo de Existencia* que se debería tener y se requiere encontrar para este trabajo.

Como ya se dijo, este modelo se aplicó y realizó para los repuestos que poseen menor rotación (Conjunto A). Se seleccionaron, al ser de principal interés, 3 repuestos de alto valor y que evidenciaron 3 casos. El Caso 1 fue el de una Asa de escotilla código R0301025901113 y clasificado como Repuesto de Carrocería, de Partes y Piezas, Manillas, Manilla (Figura 4-2), el Caso 2 fue el de un Embrague viscoso electromagnético del ventilador de enfriamiento código R03020388031838 y clasificación Repuesto, de Chasis, del sistema de Refrigeración, Ventiladores y componentes, Viscoso (Figura 5-2) y finalmente el Caso 3 fue de un Tablero de instrumentos código R03010239061604 y clasificación Repuesto, de Carrocería, de Partes y Piezas, Elementos de Comando - Instrumentos de Control – Tableros, Tablero (Figura 6-2).

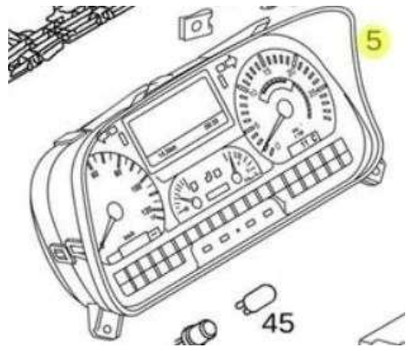
Fuente: implementos.cl, 2021

Figura 4-2. Asa de escotilla



Fuente: ilcats.ru, 2021

Figura 5-2. Embrague viscoso electromagnético



Fuente: pecas.rodobens.com.br, 2021

Figura 6-2. Tablero de instrumentos

Estos son usados por: 1 activo (bus) carrocería Marcopolo modelo G7, 2 activos chasis Mercedes Benz modelo OH 1626 L/30 y 3 activos carrocería Mascarello modelo Roma R6 respectivamente. Esta información se obtuvo del archivo Flota CVU con datos técnicos 2019. En la Tabla 8-2 se pueden ver todos estos modelos, la flota completa está en Anexo B.

CARROCERO	MOD CARROC	MARCA CH	MOD CHASIS	AÑO
MARCOPOLO	MP 70 MX	MERCEDES	OH 1626 L/30	2016
MARCOPOLO	MP 70 MX	MERCEDES	OH 1626 L/30	2016
MASCARELLO	ROMA R6	MERCEDES	O500RSD	2015
MASCARELLO	ROMA R6	MERCEDES	O500RSD	2015
MASCARELLO	ROMA R6	MERCEDES	O500RSD	2015
MARCOPOLO	G7	MERCEDES	O500RSD	2017

Fuente: Taller de mantenimiento de CVU

Tabla 8-2. Flota de buses

CAPÍTULO III: RESULTADOS Y ANALISIS COSTO BENEFICIO

3.1 RESULTADOS

En este punto se presentan los resultados que se obtuvieron de la aplicación de los métodos utilizados. Estos responden a los objetivos.

3.1.1 RESULTADOS CLASIFICACIÓN

3.1.1.1 Resultados de Inventario

En la Tabla 1-3 sólo se exhibe una muestra, la planilla completa se adjunta en Anexo C.

N° Ítem	Descripción	Part Number	OEM	Uni. Cons	Marca o Fab	Ubicación
1	Abrazadera	A6959957110	S/N	Unidad	MERCEDES BENZ	80c
2	ABRAZADERA CRUCETA CARDAN	AGRTRS0126	S/N	Unidad	AGRALE	72ª
3	ABRAZADERA PAQUETE RESORTE 300 mm	RANSUS0589	S/N	Unidad	RANDON	75ª
4	Abrazadera Tubo Escape 114mm	1629499	1629499	Unidad	VOLVO	17ª
5	Abrazadera Tubo Escape 114mm	21393575	21393575	Unidad	VOLVO	17ª

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Tabla 1-3. Inventario

Tal y como se mencionó esta es la evidencia de que todo lo que se inventarió de forma manual se digitalizo en una planilla de Excel.

3.1.1.2 Resultados valorización de inventario

Los resultados de la valorización de inventario se muestran a continuación. En la Tabla 2-3 sólo se presenta una muestra, para observar la planilla completa revisar el Anexo C.

N° Ítem	Descripción	Part Number	Stock	Valor
1412	Rodamiento de empuje	6482000155	15	$ 388.029
761	Filtro separador de agua c/purga del combustible	PSD460/1	510	$ 11.090
872	Inyector Combustible	21644596	11	$ 509.709
1182	POLEA MOTRIZ D304 8PK	AGRMOT0385	19	$ 263.890
1838	VISCOSO Embrague - ventilador de enfriamiento	A3842000027	3	$ 1.490.902

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Tabla 2-3. Valorización repuestos

Gracias a la metodología adoptada fue posible encontrar el valor de cada repuesto existente, lo que era de suma importancia para poder realizar posteriormente el Análisis ABC.

3.1.1.3 Resultados de Clasificación

A continuación, la Tabla 3-3 y Tabla 4-3 muestran un extracto de los diferentes niveles de clasificación con su correspondiente numeración. La Tabla completa se detalla en el Anexo D.

Número	Familias	Número	Subfamilias	Número	Grupos
01	Aseo	01	Insumos	01	Bolsas y paños
01	Aseo	01	Insumos	02	Limpiadores y detergentes
01	Aseo	01	Insumos	03	Desodorantes y desinfectantes
01	Aseo	01	Insumos	04	Papeles
01	Aseo	01	Insumos	05	Renovadores
01	Aseo	02	Utensilios	01	Dispensadores
01	Aseo	02	Utensilios	02	Útiles
02	EPP	01	Vestimenta	01	Uniformes
	EPP		Vestimenta	02	Frio extremo
	EPP		Vestimenta	03	Lluvia
	EPP		Vestimenta	04	Taller
	EPP		Vestimenta	05	Buses
	EPP	02	Protectores	01	Cascos, gorros
	EPP		Protectores	02	Auditivos
	EPP		Protectores	03	Facial
	EPP		Protectores	04	Guantes
	EPP		Protectores	05	Chalecos
	EPP		Protectores	06	Minería
	EPP		Protectores	07	Izaje

Fuente: Elaboración propia, Año 2021

Tabla 3-3. Numeración por Tipología para Códigos

Número	Subgrupo	Número	Especie
01	Accesorio de Seguridad	01	Alarma
	Accesorio de Seguridad	02	Baliza
	Accesorio de Seguridad	03	Cámara
	Accesorio de Seguridad	04	Cinturón
	Accesorio de Seguridad	05	Cortacorriente
	Accesorio de Seguridad	06	Linterna
	Accesorio de Seguridad	07	Martillo de emergencia
	Accesorio de Seguridad	08	Triangulo de emergencia
02	Aceite	01	Aceite
03	Alternador y componentes	01	Alternador

	Alternador y componentes	02	Condensador
	Alternador y componentes	03	Estator
	Alternador y componentes	04	Rectificador
	Alternador y componentes	05	Regulador
	Alternador y componentes	06	Rotor

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Tabla 4-3. Numeración Subgrupo y Especie

Si bien el Manual de Mantenimiento sugiere un criterio o forma de hacer la *Clasificación*, usando Artículos Generales, Herramientas, Suministros/Consumibles, Repuestos Universales, Repuestos Específicos, y Conjuntos como clasificaciones, se optó por un criterio que se adoptara de mejor manera a las existencias presentes. Las clasificaciones Artículos de aseo, EPP, Repuestos y Herramientas se eligieron para este trabajo, manteniendo o eligiendo solamente las 2 últimas que se sugieren.

Los subniveles de las clasificaciones se contemplaron para hacer la clasificación más específica y certera con el tipo o clase de repuesto para su diferenciación, dado que añade más información del repuesto. Para ejemplificar lo anterior, si se tiene una Manguera de refrigeración 60x170 mm curva, de ella se puede saber por la Clasificación que es un Repuesto (Familia) de Chasis (Subfamilia) del sistema de Refrigeración (Grupo) pertenecientes a Flexibles - Mangueras - Tuberías y componentes (Subgrupo) y específicamente es una Manguera (Especie).

Las numeraciones o números de cada nivel de clasificación tienen los objetivos de enumerarlos y también de ser usados en la codificación.

En total se obtuvieron 4 Familias, 10 Subfamilias, 56 Grupos, 89 Subgrupos y 286 Especies de existencias.

3.1.2 RESULTADOS CATALOGACIÓN

3.1.2.1 Resultados de Codificación

Teniendo la estructura definida, se procedió a generar todos los códigos para cada repuesto en cuestión y se visualizaron los siguientes resultados. Sólo se exhibió una muestra de todas las existencias, la lista total se adjunta en Anexo E.

Número Ítem	1ra letra	1° par	2° par	3° par	4° par	5° par	Código Final
1	R	03	02	07	81	04	R03020781041
2	R	03	02	07	81	04	R03020781042
3	R	03	02	08	81	10	R03020881103
4	R	03	02	04	81	16	R03020481164
5	R	03	02	04	81	16	R03020481165
6	R	03	01	01	10	01	R03010110016
7	R	03	01	01	10	01	R03010110017
8	R	03	02	09	48	01	R03020948018
9	R	03	02	09	48	01	R03020948019
10	R	03	02	09	48	01	R030209480110

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Tabla 5-3. Repuestos codificados

Se puede evidenciar que el código cumple con la estructura establecida. Están formados por la **1era letra** (inicial) de la Familia a la que pertenece el repuesto, el **1° par** de números correspondiente al número de la Familia perteneciente, el **2° par** de números correspondiente al número de la Subfamilia perteneciente, el **3° par** de números correspondiente al número del Grupo perteneciente, el **4° par** de números correspondiente al número del Subgrupo perteneciente, el **5° par** de números correspondiente al número de la Especie perteneciente y finalmente, por su **Número Ítem** adquirido de la enumeración de los repuestos realizada en el inventario.

Se logró dar un código alfanumérico a todos los ítems. Utilizando una estructura y nomenclatura basada en lo teórico, pero con algunas diferencias. La primera diferencia fue que se agregó una letra correspondiente a la inicial de la Familia perteneciente, con el objeto de facilitar su identificación a simple vista. La segunda diferencia fue que en vez de utilizar 3 pares de números (asociados a los niveles de clasificación "Grupo" "Subgrupo" e "Ítem" sugeridos en el Manual de Mantenimiento) se utilizaron 5 pares de números (correspondientes a la numeración de los subniveles de clasificación) en consecuencia de haber una mayor cantidad de subniveles.

3.1.2.2 Resultados de Parametrización

Se pudo recopilar ciertos parámetros como **Descripción Breve**, **Part Number**, **OEM**, la **Marca o Fabricante**, la **Unidad Constitutiva** y **Ubicación** de cada repuesto dentro de la bodega, los cuales eran de interés para este trabajo (Se pueden ver en la Figura 1-3.

Por tanto, se logró obtener la mayor parte de los parámetros (6) que son sugeridos por el Manual de Mantenimiento (8) para hacer una buena catalogación, los cuales son (Pistarelli, 2010, pág 542):

- ✓ Descripción Breve (información básica utilizada para acelerar la búsqueda en el SGS)
- ✓ Código asignado por el fabricante (OEM)
- ✓ Fabricante, Marca o Proveedor
- ✓ Unidad de Medida o Despacho
- Lista de características físicas o técnicas
- ✓ Número de Serie o Numero de pieza
- Número y nombre del plano de fabricación
  - ✓ Clase de Repuesto*

*Si bien la clase o tipo de repuesto no se consiguió a través de este inventario, sí se hizo a través de la *Clasificación* bajo el nombre de **Especie**, que complementa la obtención de este parámetro. Esto se verá más adelante.

3.1.3 OPTIMIZACIÓN DEL NIVEL DE EXISTENCIA

3.1.3.1 Resultados Análisis ABC

En cuanto a lo práctico, el análisis ABC arrojó los siguientes resultados.

Conjunto	N° de Repuestos	% de Repuestos	% Acumulado de Repuestos	Valor Total	% de Valor Total	% Acumulado de Valor Total
A	510	27,69%	27,69%	$424.056.790	79,96%	79,96%
B	537	29,15%	56,84%	$ 79.747.610	15,04%	95,00%
C	795	43,16%	100,00%	$ 26.535.280	5,00%	100,00%
Total	1842	100,00%		$530.339.680	100,0000%	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6-3. Porcentajes análisis ABC

Para formar la Tabla 6-3 primero fue necesario contar todos los repuestos que componían los conjunto A, B y C, esto fue posible gracias a la fórmula **=CONTAR.SI** de Excel que contaba de manera condicional las siglas A, B y C por separado. Gracias a eso se pudieron contabilizar 510 repuestos pertenecientes al Conjunto A, los que equivalen al 27,69% del **Total** de **N° de Repuestos** (1842). Estos constituyen $424.056.790

equivalentes al 79,96% del **TOTAL** del inventario valorizado igual a $530.339.680, es decir la mayor parte de la inversión está aquí. Esta información además justifica la importancia de estos repuestos y por qué se aplica el *Modelo Probabilístico* sobre ellos para obtener su *Nivel Óptimo* de stock.

Comparando esta situación con la teoría que establece que normalmente el 20% de los repuestos constituye el 80% del valor del inventario, se puede apreciar que solo hay una diferencia mayor de un 7,69% en el **Porcentaje (%) de Repuestos**. Esa diferencia del 7,69% la provocan 142 repuestos de alta rotación y bajo valor (pertenecientes al Conjunto C) que por tener un gran **Stock** ocasiona un gran **Valor Total** filtrándose al Conjunto A al ordenarlo de manera descendente. Esto se puede tolerar debido a este tipo de inventario y "pueden aceptarse estas diferencias dado que los porcentajes son sólo orientativos" según lo establecido en el Manual de Mantenimiento (Pistarelli, 2010. pág.545). En la Tabla 7-3 se puede evidenciar esta situación.

N° Item	Descripcion	Stock	Valor Neto	Valor Total	Valor Total Relativo	Valor Total Relativo Acumula	ABC
761	Filtro separador de agua c/purga del combustible	510	$ 11.090	$ 5.655.900	1,06647%	1,0665%	A
872	Inyector Combustible	11	$ 509.709	$ 5.606.801	1,05721%	2,1237%	A
1182	POLEA MOTRIZ D304 8PK	19	$ 263.890	$ 5.013.910	0,94541%	3,0691%	A
1838	VISCOSO Embrague - ventilador de enfriamiento	3	$ 1.490.902	$ 4.472.706	0,84337%	3,9125%	A
828	Grupo bomba-inyector Scania	14	$ 314.520	$ 4.403.280	0,83028%	4,7427%	A
1147	Piola De Cambio O500	7	$ 618.067	$ 4.326.470	0,81579%	5,5585%	A
727	Filtro de aceite de motor	631	$ 6.723	$ 4.242.213	0,79990%	6,3584%	A
595	Elemento filtro combustible	592	$ 7.091	$ 4.197.872	0,79154%	7,1500%	A

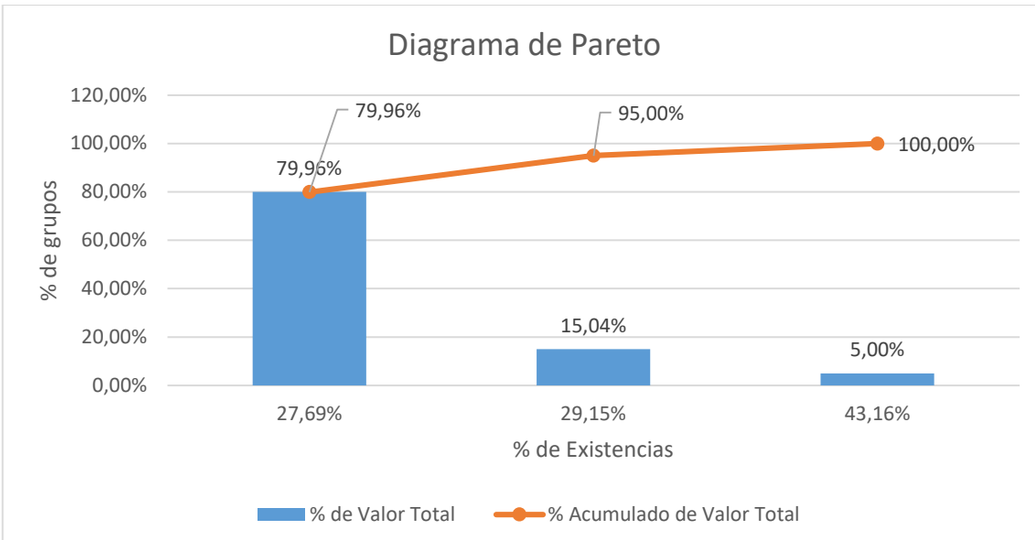
Fuente: Elaboración propia, 2021

Tabla 7-3. Evidencia filtración de repuestos

En amarillo se pueden ver algunos repuestos como filtros de combustible y aceite que se consideran de alta rotación por su alta demanda y de bajo valor, que se filtraron al Conjunto A por el elevado **Valor Total** que genera su gran **Stock** aportando así a esa diferencia en el **Porcentaje (%) de Repuestos** mencionada anteriormente. Cabe mencionar que sobre estos repuestos excepcionales no se aplica el *Modelo Probabilístico* dado que no cumplen con el criterio de repuestos con menor rotación para el cual este modelo únicamente está diseñado, por lo tanto, se ignoran.

En cuanto al Conjunto B, está conformado por el 29,15% (537 repuestos) del **Total** de **N° de Repuestos** que aportan $79.747.610 equivalentes al 15,04% del TOTAL del inventario valorizado. Cifra que coincide con lo postulado por la teoría que menciona que el 15% del total del inventario valorizado constituye el Conjunto B, por lo tanto, está correcto. Al igual que lo descrito anteriormente, la diferencia de 9,15% respecto al **N° de Repuestos** se debe a 169 repuestos de baja rotación y bajo valor (pertenecientes al Conjunto C) que por tener un gran **Stock** ocasiona un gran **Valor Total** filtrándose al Conjunto B.

Y finalmente el Conjunto C está conformado por el 43,16% del **Total** de **N° de Repuestos** equivalente a 795 repuestos que aportan $26.535.280 equivalentes al 5% del TOTAL del inventario valorizado. Al comparar este 43,16% con el 60% que fundamenta la teoría con relación al **N° de Repuestos**, hay una diferencia menor del 16,84% igual a 311 repuestos. En el Anexo F se puede ver el Análisis ABC por completo.



Fuente: Elaboración Propia, 2021

Gráfico 1-3. Diagrama de Pareto

Con el diagrama de Pareto del Gráfico 1-3 se observa de mejor y fácil manera lo que se detalló anteriormente. El Conjunto A este compuesto por el 27,69% de los repuestos que equivalen y acumula el 80% del TOTAL del inventario valorizado. El Conjunto B está compuesto por el 29,15% de los repuestos que equivalen al 15% del TOTAL del inventario valorizado y acumula el 95% del valor total (entre A y B). Y el Conjunto C está compuesto por el 43,16% de los repuestos equivalentes al 5% del TOTAL del inventario valorizado y que acumula el 100% y TOTAL (entre A, B y C).

3.1.3.2 Resultado determinación de existencias con menor rotación

Dado los resultados anteriores del análisis ABC se puede determinar que las existencias o la mayoría de ellas con menor rotación están presenten en el Conjunto A.

3.1.3.3 Resultados de implementación de Modelo Probabilístico

Para obtener los resultados de esta implementación se usó la metodología del *Modelo Probabilístico de Control de Stock* descrita en el Capítulo II, para el cálculo del

Nivel Óptimo de Existencia que se define como el equilibrio o balance entre la *Máxima Disponibilidad* y *Mínimo Nivel de Existencia* de un repuesto.

Se encontraron 3 diferentes situaciones o casos dentro de todos los repuestos sometidos a este modelo, es decir a aquellos repuestos que sostienen menor rotación (Conjunto A). El Caso 1 fue el de una Asa de escotilla código R0301025901113, el Caso 2 fue el de un Embrague viscoso electromagnético del ventilador de enfriamiento código R03020788031838 y finalmente el Caso 3 fue de un Tablero de instrumentos código R03010239061604.

<u>Caso 1: Asa de escotilla</u>

Primeramente, se calculó el Costo Unitario por Excedente C_{Ex}. Por concepto de reventa sólo se obtendrá el 90% de su valor pasado H_{EE}.

$$C_{ex} = \$1.263.590 \cdot 0{,}9 = \$1.137.231$$
$$C_{ex} = \$1.137.231$$

Su Horizonte de Evaluación Económica H_{EE} es de 5 [años] y tiene un Tiempo Promedio para la Falla MTTF de 20 $\left[\frac{\text{años}}{\text{fallo}}\right]$.

El Costo Unitario por Ruptura C_{Rup} cómo se explicó tiene un valor de $500.000.

La Tasa de Fallas λ se calculó por medio de la Ecuación 3, dando como resultado $0{,}05\left[\frac{\text{fallos}}{\text{año}}\right]$.

$$\lambda = \frac{1}{MTTF} = \frac{1}{20} = 0{,}05\left[\frac{fallos}{años}\right]$$

Fuente: Manual de Mantenimiento (Pistarelli), 2010

Ecuación 3. Tasa de fallas

La Tabla 8-3 a continuación, presenta todos estos antecedentes.

C_{Ex}	1.137.231
C_{Rup}	500.000
H_{EE}	5
MTTF	20
λ	0,05

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Tabla 8-3. Datos Asa de escotilla

Luego se calculó la Función de Densidad de Probabilidad p(d) mediante la Ecuación 2, para una demanda d=0 hasta d=10.

$$p(d) = \frac{(\lambda H_{EE})^d \cdot e^{-\lambda H_{EE}}}{d!}$$

Fuente: Manual de Mantenimiento (Pistarelli), 2010

Ecuación 2. Función de probabilidad de demanda

Los resultados se muestran en la Tabla 9-3.

d	p(d)
0	0,7788008
1	0,1947002
2	0,0243375
3	0,0020281
4	0,0001268
5	0,0000063
6	0,0000003
7	0,0000000
8	0,0000000
9	0,0000000
10	0,0000000

Fuente: Elaboración propia, 2021

Tabla 9-3. Resultados p(d) para embrague viscoso

Se puede observar que la d=0 es la que mayor probabilidad de suceder tiene. Esto es consecuencia de que el repuesto tiene un MTTF (20 años/falla) 4 veces mayor que H_{EE} (5 años), y por ende una baja λ. Lo que se puede traducir como que el repuesto fallará en

un periodo de 20 años, por lo tanto, fallará muy poco (0,05 fallas/años) y lo más probable es que dentro de 5 años (H_{EE}) no exista o haya demanda. Las d=1, 2, 3, 4 tienen una probabilidad menor que d=0. Y d=5, 6, 7, 8, 9, 10 tienen una probabilidad casi inexistente.

Luego se calculó el Costo Total por Exceso CT_{EX}, el Costo Total por Ruptura CT_{RUP} y el Costo Total(S), para las diferentes unidades S=1, 2, 3. En la Tabla 10-3 se pueden observar los resultados.

d	p(d)	Stock (S)											
		0			1			2			3		
		CT_{Ex}	CT_{Rup}	CT(S=0)	CT_{Ex}	CT_{Rup}	CT(S=1)	CT_{Ex}	CT_{Rup}	CT(S=2)	CT_{Ex}	CT_{Rup}	CT(S=3)
0	0,7788008	0	97.350	97.350	885.676	12.169	897.845	1.771.353	1.014	1.772.367	2.657.029	63	2.657.093
1	0,1947002	0	24.338	24.338	-	2.028	2.028	221.419	127	221.546	442.838	6	442.845
2	0,0243375	0	3.042	3.042	-	190	190	-	10	10	27.677	0	27.678
3	0,0020281	0	254	254	-	13	13	-	1	1	-	0	0
4	0,0001268	0	16	16	-	1	1	-	0	0	-	0	0
5	0,0000063	0	1	1	-	0	0	-	0	0	-	0	0
6	0,0000003	0	0	0	-	0	0	-	0	0	-	0	0
7	0,0000000	0	0	0	-	0	0	-	0	0	-	-	-
8	0,0000000	0	0	0	-	0	0	-	-	-	-	-	-
9	0,0000000	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	0,0000000	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		0	125.000	125.000	885.676	14.400	900.077	1.992.772	1.151	1.993.923	3.127.545	70	3.127.615

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Tabla 10-3. Resultados CT(S) para Asa de escotilla

Se puede analizar de la Tabla 10-3 que el CT_{EX} con S=0 para toda "d" es igual a 0, dado que al no haber unidades en stock es imposible que haya un excedente. Esto sucede para cualquier otro repuesto. También se observa que, para cualquiera de los valores de S, el CT_{EX} es el sumando que mayoritariamente aporta a la suma de los CT(S), lo que confirma que este repuesto lo más probable es que no tenga demanda, por tanto, tenerlo en stock solo aumenta el costo de gestionarlo.

Fuente: Elaboración propia, 2021

Gráfico 2-3. Gráfica CT(S) Asa de escotilla

La Gráfica 2-3 muestra que el mínimo o menor CT(S) lo generó el S = 0 y es de un valor de $125.000, asociado sólo al CT_{RUP} por no contar con stock y al no existir CT_{EX}, para todo el periodo de H_{EE}, por tanto, el *Nivel Óptimo de Existencia* para la Asa de escotilla es de 0 unidades. Esto confirma los análisis hechos anteriormente.

Caso 2: Embrague viscoso electromagnético

Primeramente, se calculó el Costo Unitario por Excedente C_{Ex}. Por concepto de reventa sólo se obtendrá el 90% de su valor pasado H_{EE}.

$$C_{ex} = \$1.490.902 \cdot 0{,}9 = \$1.341.811$$
$$C_{ex} = \$1.341.811$$

Su Horizonte de Evaluación Económica H_{EE} es de 5 [años] y tiene un Tiempo Promedio para la Falla MTTF de 9 $\left[\frac{\text{años}}{\text{fallo}}\right]$.

El Costo Unitario por Ruptura C_{Rup} cómo se explicó tiene un valor de $500.000.

La Tasa de Fallas λ se calculó por medio de la Ecuación 3, dando como resultado $0{,}11\left[\frac{\text{fallos}}{\text{año}}\right]$.

$$\lambda = \frac{1}{MTTF} = \frac{1}{9} = 0{,}11\left[\frac{fallos}{años}\right]$$

Fuente: Manual de Mantenimiento (Pistarelli), 2010

Ecuación 3. Tasa de fallas

La Tabla 11-3 a continuación, presenta todos estos antecedentes.

C_{Ex}	1.341.811
C_{Rup}	500.000
H_{EE}	5
MTTF	9
λ	0,11

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Tabla 11-3. Datos Embrague viscoso electromagnético

Luego se calculó la Función de Densidad de Probabilidad $p(d)$ mediante la Ecuación 2, para una demanda d=0 hasta d=10. Debido a que este repuesto es usado por 2 buses, también se calculó la Función de Densidad de Probabilidad para 2 activos $p_2(d)$ de la manera que se describió en la metodología.

$$p(d) = \frac{(\lambda H_{EE})^d \cdot e^{-\lambda H_{EE}}}{d!}$$

Fuente: Manual de Mantenimiento (Pistarelli), 2010

Ecuación 2. Función de probabilidad de demanda

Los resultados se muestran en la Tabla 12-3.

d	p(d)	$p_2(d)$
0	0,5737534	0,3291930
1	0,3187519	0,3657700
2	0,0885422	0,2032055
3	0,0163967	0,0752613
4	0,0022773	0,0209059
5	0,0002530	0,0046458
6	0,0000234	0,0008603
7	0,0000019	0,0001366
8	0,0000001	0,0000190
9	0,0000000	0,0000023
10	0,0000000	0,0000003

Fuente: Elaboración propia, 2021

Tabla 12-3. Resultados p(d) y $p_2(d)$ para embrague viscoso

Se puede observar que la d=0 es la que tiene mayor probabilidad de suceder. Esto es consecuencia de que el repuesto tiene un MTTF (9 años/falla) 1,8 veces mayor que H_{EE} (5 años) y por ende una baja λ (0,1 fallas/años). Lo que se puede traducir como que, el repuesto falla en un periodo (9 años) mayor al periodo de H_{EE} y falla poco, lo que hace muy probable que el activo no demande un repuesto antes de que se dé de baja. Pero, sin embargo, la situación es distinta para p_2, donde específicamente $p_2(1)$ tiene la mayor probabilidad (un 37% app). Esto quiere decir que para 2 activos hay más probabilidad que se demande 1 repuesto.

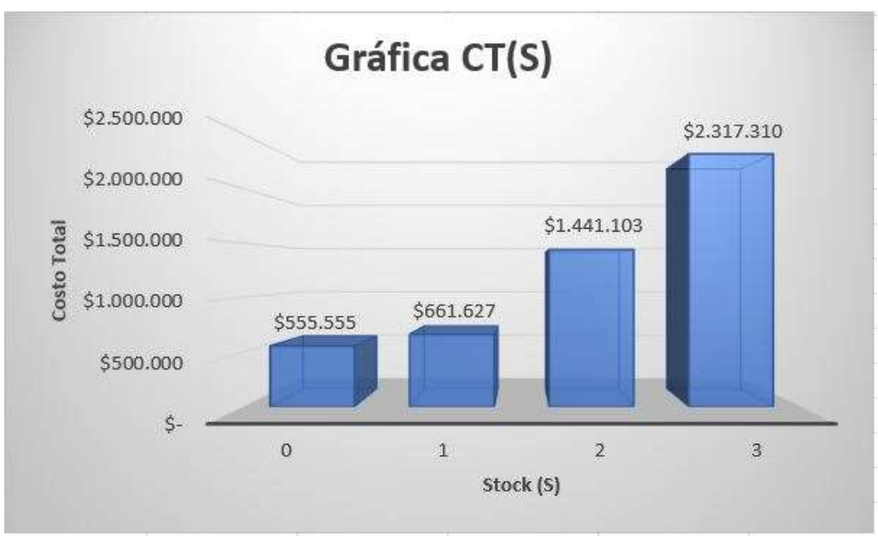
Luego se calculó el Costo Total por Exceso CT_{EX}, el Costo Total por Ruptura CT_{RUP} y el Costo Total(S), para las diferentes unidades S=1, 2, 3. En la Tabla 13-3 se pueden observar los resultados.

d	p(d)	$p_2(d)$	Stock (S)											
			0			1			2			3		
			CT_{Ex}	CT_{Rup}	CT(S=0)	CT_{Ex}	CT_{Rup}	CT(S=1)	CT_{Ex}	CT_{Rup}	CT(S=2)	CT_{Ex}	CT_{Rup}	CT(S=3)
0	0,5737534	0,3291930	0	182.885	182.885	441.475	101.603	543.078	882.950	37.631	920.581	1.324.425	10.453	1.334.878
1	0,3187519	0,3657700	0	203.206	203.206	-	75.261	75.261	490.528	20.906	511.434	981.056	4.646	985.702
2	0,0885422	0,2032055	0	112.892	112.892	-	31.359	31.359	-	6.969	6.969	272.516	1.290	273.806
3	0,0163967	0,0752613	0	41.812	41.812	-	9.292	9.292	-	1.721	1.721	-	273	273
4	0,0022773	0,0209059	0	11.614	11.614	-	2.151	2.151	-	341	341	-	47	47
5	0,0002530	0,0046458	0	2.581	2.581	-	410	410	-	57	57	-	7	7
6	0,0000234	0,0008603	0	478	478	-	66	66	-	0	0	-	1	1
7	0,0000019	0,0001366	0	76	76	-	9	9	-	1	1	-	-	-
8	0,0000001	0,0000190	0	11	11	-	1	1	-	-	-	-	-	-
9	0,0000000	0,0000023	0	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	0,0000000	0,0000003	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			0	555.555	555.555	441.475	220.152	661.627	1.373.478	67.625	1.441.103	2.577.997	16.718	2.594.714

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Tabla 13-3. Resultados CT(S) para Embrague viscoso

Se puede analizar de la Tabla 13-3 que el CT_{EX}, para los valores 1,2 y 3 de S, siempre es mayor que el CT_{RUP}, lo que quiere decir que será más costoso tener el repuesto que no tenerlo. Esto se confirma en y con S=0, donde se ve claramente que no hay CT_{EX} y el CT_{RUP} aporta todo el valor al CT(0) esclareciendo que incluso tomando el riesgo de que falte un repuesto, este costo sigue siendo menor y al aumentar las unidades (S), aumentará el CT_{EX} y por tanto el CT.



Fuente: Elaboración propia, 2021

Gráfico 3-3. Gráfica CT(S) Embrague viscoso

El Gráfico 3-3 muestra que el mínimo o menor CT(S) lo generó el S = 0 y es de un valor de $555.555, asociado sólo al CT_{RUP} al no existir CT_{EX} por no contar con stock para todo el periodo de H_{EE}, por tanto, el *Nivel Óptimo de Existencia* para el Embrague viscoso electromagnético es de 0 unidades. A pesar de que la d=1 tenía la mayor probabilidad de ocurrencia, según la p_2 (usada exclusivamente para este calculo de costos), tener una unidad en stock para satisfacer la probable demanda, es más costoso que no tenerla y correr el riesgo de no entregar el servicio.

Caso 3: Tablero de instrumentos

Primeramente, se calculó el Costo Unitario por Excedente C_{Ex}. Por concepto de reventa sólo se obtendrá el 90% de su valor pasado H_{EE}.

$$C_{ex} = \$890.555 \cdot 0{,}9 = \$801.499$$
$$C_{ex} = \$801.499$$

Su Horizonte de Evaluación Económica H_{EE} es de 5 [años] y tiene un Tiempo Promedio para la Falla MTTF de 11 $\left[\frac{\text{años}}{\text{fallo}}\right]$.

El Costo Unitario por Ruptura C_{Rup} cómo se explicó tiene un valor de $500.000.

La Tasa de Fallas λ se calculó por medio de la Ecuación 3, dando como resultado $0{,}09\left[\frac{\text{fallos}}{\text{año}}\right]$.

$$\lambda = \frac{1}{MTTF} = \frac{1}{11} = 0{,}09\left[\frac{fallos}{años}\right]$$

Fuente: Manual de Mantenimiento (Pistarelli), 2010

Ecuación 3. Tasa de fallas

La Tabla 14-3 a continuación, presenta todos estos antecedentes.

C_{Ex}	801.499
C_{Rup}	500.000
H_{EE}	5
MTTF	11
λ	0,09

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Tabla 14-3. Datos Tablero de instrumentos

Luego se calculó la Función de Densidad de Probabilidad $p(d)$ mediante la Ecuación 2, para una demanda d=0 hasta d=10. Debido a que este repuesto es usado por 3 buses, también se calculó la Función de Densidad de Probabilidad para 3 activos $p_3(d)$ de la manera que se describió en la metodología.

$$p(d) = \frac{(\lambda H_{EE})^d \cdot e^{-\lambda H_{EE}}}{d!}$$

Fuente: Manual de Mantenimiento (Pistarelli), 2010

Ecuación 2. Función de probabilidad de demanda

Los resultados se muestran en la Tabla 15-3.

d	p(d)	$p_3(d)$
0	0,6347364	0,2557292
1	0,2885166	0,3487216
2	0,0655719	0,2377647
3	0,0099351	0,1080749
4	0,0011290	0,0368437
5	0,0001026	0,0100483
6	0,0000078	0,0022837
7	0,0000005	0,0004449
8	0,0000000	0,0000758
9	0,0000000	0,0000115
10	0,0000000	0,0000016

Fuente: Elaboración propia, 2021

Tabla 15-3. Resultados p(d) y $p_3(d)$ para Tablero de instrumentos

Nuevamente se puede observar que la d=0 es la que tiene mayor probabilidad de suceder (un 63%). Esto, en consecuencia, de que el repuesto tiene un MTTF (11 años/falla) 2,2 veces mayor que el H_{EE} (5 años) y por ende una baja λ (0,09 fallas/años). Lo que se interpreta como que, el repuesto falla en un periodo (11 años) por sobre el periodo de H_{EE}, lo que hace muy probable que los activos no demanden un repuesto antes de que se dé de baja. Pero, sin embargo, la situación es distinta para p_3, donde específicamente $p_3(1)$ tiene la mayor probabilidad (un 35% app). Esto quiere decir que para 3 activos hay más probabilidad que se demande 1 repuesto.

Luego se calculó el Costo Total por Exceso CT_{EX}, el Costo Total por Ruptura CT_{RUP} y el Costo Total(S), para las diferentes unidades S=1, 2, 3. En la Tabla 16-3 se pueden observar los resultados.

d	p(d)	$p_3(d)$	Stock (S)											
			0			1			2			3		
			CT_{Ex}	CT_{Rup}	CT(S=0)	CT_{Ex}	CT_{Rup}	CT(S=1)	CT_{Ex}	CT_{Rup}	CT(S=2)	CT_{Ex}	CT_{Rup}	CT(S=3)
0	0,6347364	0,2557292	0	174.361	174.361	343.140	118.882	462.023	686.281	54.037	740.318	1.029.421	18.422	1.047.843
1	0,2885166	0,3487216	0	237.765	237.765	-	108.075	108.075	467.919	36.844	504.763	935.838	10.048	945.886
2	0,0655719	0,2377647	0	162.112	162.112	-	55.266	55.266	-	15.072	15.072	319.036	3.426	322.461
3	0,0099351	0,1080749	0	73.687	73.687	-	20.097	20.097	-	4.567	4.567	-	890	890
4	0,0011290	0,0368437	0	25.121	25.121	-	5.709	5.709	-	1.112	1.112	-	190	190
5	0,0001026	0,0100483	0	6.851	6.851	-	1.335	1.335	-	227	227	-	34	34
6	0,0000078	0,0022837	0	1.557	1.557	-	265	265	-	40	40	-	6	6
7	0,0000005	0,0004449	0	303	303	-	46	46	-	6	6	-	-	-
8	0,0000000	0,0000758	0	52	52	-	7	7	-	-	-	-	-	-
9	0,0000000	0,0000115	0	8	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	0,0000000	0,0000016	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			0	681.817	681.817	343.140	309.682	652.822	1.154.200	111.907	1.266.107	2.284.295	33.015	2.317.310

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Tabla 16-3. Resultados CT(S) para Tablero de instrumentos

Se puede analizar de la Tabla 16-3 que el CT(0) = $681.817 dado por el $CT_{RUP}(0)$, en cambio en S=1 el CT(1) = $652.822, lo que significa que no tener el repuesto en stock es más caro que tener, específicamente, 1 unidad del repuesto. Si hay más de 1 unidad (S=2, 3), el CT vuelve a aumentar (incluso por sobre el CT_{RUP}) debido al aumento de las unidades, por ende, también del CT_{EX}, afectando al CT. Entonces se puede decir que en S=1 está el balance entre el *Mínimo Nivel de Existencia* y la *Máxima Disponibilidad*, y así lo reflejan los CT(S).

Fuente: Elaboración propia, 2021

Gráfico 4-3. Gráfica CT(S) Tablero de instrumentos

El Gráfico 4-3 muestra que el mínimo o menor CT(S) lo generó el S = 1 y es de un valor de $652.822, por lo tanto, el *Nivel Óptimo de Existencia* para el Tablero de instrumentos es de 1 unidad. Entonces lógicamente si hay una demanda de 1 unidad, que es la más probable según esta simulación, dentro del periodo de H_{EE}, habrá 1 unidad en stock para satisfacer el requerimiento.

3.2 ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

Dado que el *Modelo Probabilístico* se aplica a un único repuesto a la vez, los 3 repuestos y sus casos expuestos, se consideraron como "proyectos" independientes y por tanto se hizo un análisis costo-beneficio por cada uno de ellos.

También se debe mencionar que no se consideran costos asociados al mantenimiento ni almacenamiento sobre los repuestos presentes en bodega debido a que estos no se realizan, por tanto, no existen. El principal costo asociado a los repuestos es el Costo Total generado por la gestión de estos mismos, calculado y obtenido a través de la simulación del modelo probabilístico en el periodo de tiempo H_{EE} (5 años).

Se hará por cada uno de los casos expuestos anteriormente.

Caso 1: Asa de escotilla

A continuación, se dan a conocer detalladamente los costos y beneficios relacionados a este.

El costo asociado a la gestión de este repuesto es el Costo Total evaluado en stock 0, dando un valor igual a $125.000.

El beneficio asociado es el ahorro obtenido de no tener este repuesto en stock, el cual sería su valor multiplicado por la cantidad actual que se tiene de él. Esta cantidad se busca en el inventario realizado en este trabajo, y se confirma a través de este mismo (Tabla 17-3).

N° Item	Descripcion	Part Number	OEM	Uni. Cons	Marca o Fab	Ubicación	Stock	Valor Neto
113	Asa Escotilla	NTRTEC0003	S/N	Unidad	MARCOPOLO	80a	2	$ 1.263.590

Fuente: Elaboración propia, 2021

Tabla 17-3. Stock Asa de escotilla

El Beneficio será: $2 \cdot \$1.263.590 = \$2.527.180$

Costos	Beneficios
$125.000	$2.527.180

Fuente: Elaboración propia, 2021

Tabla 18-3. Costos-Beneficio Asa de escotilla

Por lo tanto, al realizar la relación $\frac{\text{BENEFICIOS}}{\text{COSTOS}}$ se obtiene lo siguiente:

$$\frac{\text{BENEFICIOS}}{\text{COSTOS}} = \frac{\$2.527.180}{\$125.000} = 20{,}22 > 1$$

Al conseguir que la relación es > 1 se dice que este proyecto es viable y se recupera inversión. El beneficio será 20,22 veces más que el valor del costo.

<u>Caso 2: Embrague viscoso electromagnético</u>

El costo asociado a su gestión es el Costo Total evaluado en stock 0, dando un resultado igual a $555.555.

El beneficio asociado es el ahorro obtenido de no tener stock del repuesto. El valor de dicho beneficio es igual al producto entre cantidad actual que se tiene en stock y el valor del repuesto. La cantidad se corrobora desde el inventario (Tabla 19-3).

N° Item	Descripcion	Part Number	OEM	Uni. Cons	Marca o Fab	Ubicación	Stock	Valor Neto
1838	Embrague viscoso electromagnetico del ventilador de enfriamiento	A3842000027	S/N	Unidad	MERCEDES BENZ	89b	3	$ 1.490.902

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19-3. Stock de Embrague viscoso

$$\text{Beneficio: } 3 \cdot \$1.490.902 = \$4.472.706$$

Costos	Beneficios
$555.555	$4.472.706

Fuente: Elaboración propia, 2021

Tabla 20-3. Costos-Beneficios Embrague viscoso

Al realizar la relación entre $\frac{\text{BENEFICIOS}}{\text{COSTOS}}$ se obtiene lo siguiente

$$\frac{\text{BENEFICIOS}}{\text{COSTOS}} = \frac{\$4.472.706}{\$555.555} = 8{,}05 > 1$$

Al conseguir que la relación es >1 se dice que el proyecto es aceptable. El beneficio es 8,05 veces el valor del costo.

Caso 3: Tablero de instrumentos

El costo asociado a su gestión es el Costo Total evaluado en stock 1, dando un resultado igual a $652.822.

El beneficio asociado es el ahorro obtenido de tener solo 1 unidad en stock del repuesto en vez de 3 unidades que se tienen realmente. Por lo tanto 3-1=2, es la cantidad de repuestos que se deben sacar de stock. El valor de dicho beneficio es igual al producto entre cantidad que se debe sacar de stock (que se ahorra) y el valor del repuesto. La cantidad se corrobora desde el inventario (Tabla 21-3).

N° Item	Descripcion	Part Number	OEM	Uni. Cons	Marca o Fab	Ubicación	Stock	Valor Neto
1604	Tablero Instrumentos O500 Mb	A3824463021	S/N	Unidad	MERCEDES BENZ	23a	3	$ 890.555

Fuente: Elaboración propia, 2021

Tabla 21-3. Stock Tablero de instrumentos

El Beneficio será: $2 \cdot \$890.555 = \$1.781.110$

Costos	Beneficios
$652.822	$1.781.110

Fuente: Elaboración propia, 2021

Tabla 22-3. Costos-Beneficios Tablero de instrumentos

Al realizar la relación entre $\frac{\text{BENEFICIOS}}{\text{COSTOS}}$ se obtiene lo siguiente

$$\frac{\text{BENEFICIOS}}{\text{COSTOS}} = \frac{\$1.781.110}{\$652.822} = 2{,}73 > 1$$

Al conseguir que la relación es >1 se dice que el proyecto es aceptable. El beneficio es 2,73 veces el valor del costo.

Ahora si consideramos estos 3 casos como un solo proyecto el análisis sería el siguiente:

Costos		Beneficios	
$125.000 $555.555 $652.822		$2.527.180 $4.472.706 $1.781.110	
SUMA TOTAL	$1.333.377	SUMA TOTAL	$8.780.996

Fuente: Elaboración propia, 2021

Tabla 23-3. Costos-Beneficios total

Haciendo la relación entre $\frac{\text{BENEFICIOS}}{\text{COSTOS}}$ se obtiene lo siguiente

$$\frac{\text{BENEFICIOS}}{\text{COSTOS}} = \frac{\$8.780.996}{\$1.333.377} = 6{,}59 > 1$$

Al conseguir que la relación es >1 se dice que el proyecto es aceptable. Por lo tanto, el beneficio es 6,59 veces mayor que el costo. Esto son los resultados al implementar este *Modelo Probabilístico*.

DISCUSIÓN

Los resultados que proporciona el Análisis ABC dicen que 510 repuestos, equivalentes al 27,69% del total de todos los repuestos, pertenecen al Conjunto A. Ellos contribuyen $424.056.790 que son iguales al 80% del valor total del inventario, dato que coincide con la "regla" del 80-20 confirmando así que estos repuestos son importantes debido a su trascendental influencia en la valorización global. Dada las características de estos repuestos como su alto valor y ser considerados como específicos o críticos, se establece, en base al conocimiento teórico, que estos son los repuestos con la menor rotación.

También se manifestó una diferencia entre lo teórico y empírico. Donde en vez de haber un 20% del total de repuestos (establecido en la teoría) hubo un 7,69% más, equivalentes a 142 repuestos de alta rotación y bajo valor que se filtraron desde el Conjunto C. No obstante, se deja en claro que esto no afectó en absoluto la determinación de repuestos con menor rotación.

CONCLUSIONES

Al realizar el inventario con el fin de obtener información o parámetros para usarlos como base de la clasificación y a su vez la codificación de las existencias resultó ser efectivo dado que mediante este método se obtuvieron 5 niveles de clasificaciones las que generaron 286 especies o tipos de repuestos diferentes. Al incluir 3 niveles de clasificación más, en comparación con lo que sugiere la teoría, se obtuvo una mayor y mejor especificación para cada tipo de repuesto porque se le agrega más información a cada clasificación, lo que se interpreta como mayor certeza al momento de clasificar. Se concluye que esta metodología es útil y ayudó a cumplir con el objetivo.

Asimismo, el código que resultó de la *Codificación* también tuvo algunas modificaciones como consecuencia de las modificaciones de la *Clasificación*. Esto fue debido a que la estructura y los componentes del código tienen su origen en la numeración de las clasificaciones, por lo tanto, al aumentar los niveles de clasificación (de 3 a 5), aumentaron los números de clasificaciones afectando directamente en la estructura del código, aumentando la composición original (teóricamente) de 3 pares de números a 5 pares de números. También se le agregó y ubicó una letra al comienzo del código con el objeto de discriminar de manera rápida y fácil a que Familia pertenece, dado que dicha letra corresponde a la inicial de la Familia perteneciente. También se logró crear un código para cada repuesto. Lo que significa que la metodología sí funciona para crear un código de identificación. Esto se interpreta como una mejora en la administración de los repuestos (tanto con la Clasificación y Codificación) dado que al obtener más información se facilita la distribución y suministro de los repuestos al saber con mayor precisión y conocimiento de lo que se está administrando. Esto significa que la metodología sí funciona para crear un código de identificación. La catalogación a través de la codificación logra identificar a los repuestos, que es útil para saber la trazabilidad de un repuesto y así controlarlo para mejorar la administración. A través de la parametrización se logra conocer más que una sola descripción de un repuesto, se logran conocer más especificaciones del repuesto, como si son repuestos de difícil obtención, si la marca es de un proveedor lejano a la bodega considerando el tiempo de reposición, entre otros. Información que aporta y mejora cualitativamente la administración.

Respecto a la aplicación del *Modelo Probabilístico de Control de Inventario* se puede mencionar, en base a los resultados que evidenciaron los casos de los 3 repuestos exhibidos, que cada uno mostró diferentes *menores Costos Totales* y *Niveles Óptimos de Existencias*. Esto ocurrió debido a que cada uno presentaba distintos antecedentes, haciendo que los cálculos variaran uno respecto del otro, lo que justifica que la aplicación

de este modelo se realizara únicamente por cada repuesto. Por lo tanto, cada situación fue importante y tuvo su análisis de decisión, considerando lo mencionado anteriormente. Se pudo concluir que a través de este modelo sí se pudo encontrar los *Niveles Óptimos de Existencia* para los repuestos: Asa de escotilla, Embrague viscoso electromagnético y Tablero de instrumentos, con un nivel óptimo de 0, 0 y 1 respectivamente. Con esta información se puede entender que no siempre es necesario tener un repuesto en stock (como el Caso 1 y 2) al ser más costoso tenerlo que no tenerlo. Y finalmente se concluye que aplicar este modelo disminuye el capital ocioso generando beneficios económicos, como se demostró mediante el análisis costo-beneficio.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alejandro J. Pistarelli. (2017). *Manual de Mantenimiento: Ingeniería, Gestión y Organización.* Buenos Aires: el autor.
2. Indira Arroyo, Luis C. Bravo M., Dr. Ret. Nat. Humberto Llinás., Msc. Fabián L. Muñoz. (2014). *Distribuciones Poisson y Gamma: Una Discreta y Continua Relación.* Colombia: los autores.