

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE POSTGRADOS**

**PROYECTO DE TITULACIÓN**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**“MAGÍSTER EN LOGÍSTICA Y TRANSPORTE CON MENCIÓN  
EN MODELOS DE OPTIMIZACIÓN”**

**TEMA:**

Diseño de un modelo de inventario para el aprovisionamiento de accesorios en una empresa de servicios en la ciudad de Guayaquil

**AUTOR:**

**SAIDA PATRICIA SINCHI ZUMBA**

Guayaquil – Ecuador

2023

## Resumen

Actualmente las empresas valoran la importancia del control de los inventarios a través de una correcta gestión que garantice que las empresas cuenten con suficiente stock de materiales para un eficiente desarrollo de sus actividades operativas o de servicios. De esta forma se evita pérdidas económicas por caducidad u obsolescencia y se garantiza un servicio de calidad a sus clientes.

Teniendo en cuenta este análisis la empresa privada de servicio de agua ante problemáticas como rotación baja, materiales obsoletos, aprovisionamiento de materiales innecesario o falta de estos se plantea el desarrollo de un modelo de inventario para el aprovisionamiento de materiales y accesorios a fin de contar con los mismos durante todo el año.

Para la realización del presente proyecto primero se realizó un análisis de la situación actual de la empresa, se recopiló la información de los consumos de los años 2018 hasta el 2022, se realizó un análisis de Pareto y finalmente se desarrolló un modelo matemático en el sistema informático GAMS.

A través del modelo matemático se realizó cinco simulaciones con tres diferentes categorizaciones de rango de descuentos, mismos que previamente han sido negociados por el área de Compras. Como resultado se obtuvo un ahorro considerable que beneficia a la empresa con un valor adicional para la compra de accesorios que no han sido proyectados o que en algunos casos su demanda ha incrementado.

Palabras claves: Optimización, inventario, modelo matemático.

## **Abstract**

*Currently, companies value the importance of adequate inventory control; through proper management, it is guaranteed that companies have sufficient stock of materials for an adequate development of their operational or service activities. In this way, economic losses due to expiration or obsolescence are avoided, and a quality service is guaranteed to its customers.*

*Taking this analysis into account, the private water service company faced problems such as low rotation, obsolete materials, unnecessary supply of materials or lack of them. Therefore, it is necessary the develop an inventory model for the supply of materials and accessories to be available all year.*

*To carry out this project, first, it was developed an analysis of the current situation of the company, the consumption information for the years 2018 to 2022 was collected, and a Pareto analysis was carried out. Finally, a mathematical model was developed in the GAMS system.*

*Through the mathematical model, we get five simulations with three different categorizations of the range of discounts. These discounts have been previously negotiated by the purchasing area. As a result of the simulations, we obtained considerable savings that benefit the company with an additional value to purchase accessories that have not been projected or, in some cases, the demand for these accessories has increased.*

*Keywords: Optimization, inventory, mathematical model*

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi amado esposo Armando quien es mi apoyo incondicional y a mis hijas Emma & Ana.

Patricia Sinchi

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios y a la Santísima Virgen María por guiarme y protegerme siempre.

A mis padres Luis y Elena, a mis hermanos Pedro Jorge y Anita que siempre me han motivado en mi preparación personal y profesional. A mis suegros Don Luis y Sra. Lucía por su apoyo incondicional. A mi familia Armando, Emmi y Ani que son mi mayor motivación en mi vida.

A mi querida amiga Ibeth quien me ha apoyado durante este proceso de la tesis.

A mis queridos amigos Allan y Vane que me animan siempre en mis nuevos retos.

A la ESPOL y a sus catedráticos por compartir sus conocimientos y experiencias a sus alumnos.

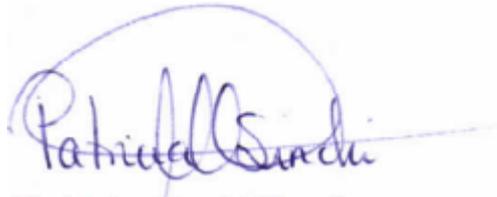
Agradezco de manera muy especial al Dr. Barcia por su guía en la realización del presente proyecto.

Patricia Sinchi

## DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Titulación, me corresponde exclusivamente y ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría. El patrimonio intelectual del mismo, corresponde exclusivamente a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.



---

Saida Patricia Sinchi Zumba

# TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



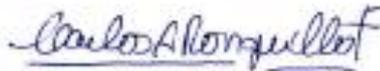
Ph.D. Sergio Bauz Olvera

PRESIDENTE



Ph.D. Kleber Barcia Villacreses

DIRECTOR



M.Sc. Carlos Ronquillo Franco

VOCAL

## ABREVIATURAS

SKU	Stock Keeping Unit (Número de referencia único)
AR	Autoregressive model
MA	Moving Average
PLE	Programación Lineal Entera
LP	Programación Lineal
MILP	Programación Lineal Entera Mixta
NLP	Programación No Lineal
DSC	Data Supply Chain
GAMS	General Algebraic Modeling System
MINLP	Mixed Integer Non- Linear Programming
CPU	Central Processing Unit
GWO	Grew Wolf Optimizer
GA	Algoritmo Genético
MFO	Moth-Flame Optimization
DE	Evolución Diferencial
GWP	Global Warming Potential
HVAC&R	Heating, Ventilation, A/C & Refrigeration
SCI	Statement of Corporate Intent (operations agreement)
LSP	Logistic Service Provider

OP	Orden de Compra
ARMA	Autoregressive Moving Average
NSGAI	Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II
CM	Costo de Materiales
CC	Costos de Cuadrillas

## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b> .....	<b>I</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>II</b>
<b>ABREVIATURAS</b> .....	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>XII</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>XIII</b>
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Descripción del problema .....	1
1.3 Justificación del problema .....	3
1.4 Objetivos .....	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
1.5 Metodología.....	4
1.6 Estructura del proyecto.....	4
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>6</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>6</b>
2.1 Revisión de la literatura .....	6
2.2 Gestión de inventarios.....	6
2.3 Importancia de la gestión de inventarios .....	7
2.4 Ley de Pareto .....	8
2.5 Series de tiempo .....	8

2.6	Predicción - Pronóstico.....	9
2.6.1	Modelo AR (p).....	9
2.6.2	Modelo MA(q) .....	10
2.6.3	Modelo ARMA(p,q) .....	12
2.7	Modelo matemático .....	13
2.7.1	Programación entera mixta.....	14
2.8	Software para modelos matemáticos .....	16
2.9	Investigaciones relacionadas al proyecto .....	17
2.9.1	Mejora de los flujos logísticos en el proceso de recepción en un almacén	17
2.9.2	Modelos de optimización para gestión del inventario con limitado número de artículos en stock .....	18
2.9.3	Un modelo de inventario para medicamentos en deterioro con tiempo de entrega estocástico .....	18
2.9.4	Aplicación de técnicas de optimización en la cadena de suministro lácteo: una revisión sistemática .....	19
2.9.5	Control de inventario conjunto y fijación de precios en un sistema de inventario de servicios.....	19
2.9.6	Mejora del rendimiento de los juegos móviles con técnicas básicas de optimización en unidad .....	20
2.9.7	Modelo de conductividad térmica de refrigerantes de bajo global warming potential (GWP) con optimización multiobjeto .....	20
2.9.8	Los efectos de las diferentes estrategias de integración de la cadena de suministro en recuperación de interrupciones: un estudio de dinámica de sistema sobre la industria quesera .....	21
<b>CAPÍTULO 3</b>	.....	<b>22</b>
<b>3. METODOLOGÍA</b>	.....	<b>22</b>
3.1	Generalidades de la empresa .....	22
3.2	Actividades que se ejecutan en el área de Operaciones.....	22
3.3	Proceso actual de proyecciones.....	23
3.4	Proceso actual de requisiciones.....	24
3.5	Problemática .....	26
3.6	Clasificación de ítems.....	28

<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>34</b>
<b>4. FORMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO</b> .....	<b>34</b>
4.1 Estructura del modelo matemático .....	34
4.2 Comparación de escenarios .....	39
4.3 Resultados – Comparaciones .....	40
4.4 Ítems con categorización C .....	46
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>47</b>
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>47</b>
5.1 Conclusiones.....	47
5.2 Recomendaciones.....	47
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>49</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>52</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Flujo de aprobación de requisición.....	24
Figura 3.2 Flujo de aprobación de orden de compra.....	25

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Presupuesto de cajas.....	23
Tabla 3.2 Presupuesto de materiales varios .....	24
Tabla 3.3 Ítems con lead time (90 días) .....	26
Tabla 3.4 Ítems uso de cuadrillas.....	26
Tabla 3.5 Consumo proyectado vs real.....	27
Tabla 3.6 Ítems con consumo 0 .....	28
Tabla 3.7 Pareto categorización cajas .....	29
Tabla 3.8 Pareto categorización medidores .....	30
Tabla 3.9 Pareto categorización válvulas.....	31
Tabla 3.10 Pareto categorización varios .....	32
Tabla 3.11 Análisis de Pareto .....	33
Tabla 3.12 Escenarios para análisis de resultados .....	39
Tabla 3.13 Decisión de compra.....	41
Tabla 3.14 Cantidad a importar/comprar.....	42
Tabla 3.15 Ingresos de Stock.....	43
Tabla 3.16 Almacenamiento.....	45
Tabla 3.17 Estiba .....	45

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

Actualmente las empresas debaten una serie de inconvenientes en la operación de sus actividades económicas, el presente trabajo está enfocado en la gestión óptima del manejo de inventarios para una empresa de servicios básicos. Los cuales son importantes para el desarrollo de las actividades económicas de las empresas industriales y comerciales, así como para el desarrollo social de los distintos sectores de la ciudad.

A fin de desarrollar de forma óptima las actividades operativas del área, surgió la necesidad de contar con un adecuado control del inventario. Esta gestión permite conocer los ítems que tienen mayor rotación para planificar una adecuada provisión de estos sin que haya sobre stock ni quiebres de inventario.

En el presente trabajo se desarrolla un modelo de inventario para el aprovisionamiento de accesorios en una empresa de servicios, la cual se encuentra ubicada en la ciudad de Guayaquil y presenta problemas como sobre stock en ciertos accesorios, quiebres de stock, poca rotación, accesorios discontinuados, entre otros.

La finalidad de este estudio es poner en práctica los conocimientos técnicos y científicos adquiridos en las diferentes materias estudiadas en la maestría, a través de la cual se percibieron conceptos sobre sistemas de inventarios, métodos y técnicas de control.

### 1.2 Descripción del problema

La globalización en el mundo debido al avance tecnológico ha generado gran competencia entre las empresas, tanto por su permanencia como por su excelencia, especialmente entre aquellas que pertenecen al mismo sector. Actualmente las empresas se preocupan de toda la línea de

abastecimiento a fin de optimizar sus recursos materiales, humanos, financieros y tecnológicos.

El control del inventario debe ser visto como una imagen tangible de los activos de una empresa, sin embargo, para muchas organizaciones pasa desapercibida esta gestión debido a que consideran que es un costo innecesario. Un adecuado control del inventario garantiza la disponibilidad de stock durante toda la operación de la empresa, así como el hecho de mantener niveles mínimos de productos de baja rotación en la o las bodegas.

Desde el punto de vista económico, mantener stock sin rotación en una bodega significa inversión de dinero sin flujo. Las empresas hoy en día están preocupadas por el correcto aprovisionamiento y disponibilidad de materiales sin quiebres de stock.

Teniendo en cuenta este análisis, la empresa privada de servicios de agua; objeto de este proyecto de titulación y ubicada en la ciudad de Guayaquil, mediante el departamento operativo ha identificado las siguientes problemáticas:

Al no contar con una proyección de consumo anual de los materiales con base en las necesidades reales de la operación, las cantidades que se toman como referencia para realizar los pedidos anuales no coinciden con la demanda real.

Debido a que se mantienen SKU's sin rotación durante el año, se genera un sobre stock de ciertos accesorios y además no existe un adecuado flujo de efectivo para el pago a los proveedores.

Anualmente se debe ejecutar un proyecto sobre cambio masivo de medidores obsoletos en ciertos sectores de la ciudad (más de 10 años de uso), en estos cambios se pronostica solo el consumo de medidores, pero no se proyecta el consumo de accesorios como llaves, cajetines, etc., lo cual ocasiona la generación de quiebres de stock de estos accesorios. Actualmente se mantienen SKU's que por sus características fueron

comprados con altos costos y por el tiempo sin consumo se encuentran obsoletos.

Durante los años 2020 y 2021 se realizaron proyectos emergentes a fin de aumentar los ingresos, esto ocasionó que no haya una planificación oportuna de la compra de accesorios, adquiriendo SKU's innecesarios, adicional, no existe una proyección de los consumos anuales. El área maneja un presupuesto anual y la compra de materiales no es la excepción, por tanto, al no tener una adecuada planificación se genera una proyección de presupuesto por debajo del real.

### **1.3 Justificación del problema**

El área operativa necesita que un adecuado control de los inventarios a fin de que se ataquen los problemas mencionados en el apartado anterior, como contar con stock suficiente de los SKU's de mayor rotación y reducir la compra de materiales innecesarios.

Dada esta situación se ha visto la necesidad de realizar un registro de consumos mensuales de todos los SKU's, en este archivo se detalla el consumo real de estos. Con dicha información se puede ejecutar proyecciones eficientes para el siguiente año que permitan eliminar:

- Pérdidas económicas por falta de SKU's, debido que al no contar con stock se realiza compras de los materiales con costos muy altos.
- Afectación al presupuesto de mano de obra o pago a Contratistas.
- Quiebres de stock de SKU's.
- Solicitud de excepciones por no realizar una adecuada proyección de la línea de compra de materiales para el año siguiente.

El presente proyecto tiene como finalidad implementar un modelo de inventario para los aprovisionamientos de materiales y accesorios.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Diseñar un modelo de inventario de accesorios para la efectiva planeación de compras a fin de que haya disponibilidad de materiales durante todo el año evitando quiebres de stock en una empresa de servicio.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

1. Identificar los problemas que se tiene actualmente dentro de la empresa por quiebres de stock.
2. Realizar un registro del consumo mensual de todos los SKU's proyectando el consumo.
3. Desarrollar un modelo matemático identificando las cantidades óptimas de pedido para cada SKU's.
4. Realizar un estudio comparativo de resultados actuales vs el proyectado.

## **1.5 Metodología**

Este proyecto empieza con la recopilación de información mensual para el período 2020 – 2021 de los consumos de todos los ítems que actualmente mantiene el área de operaciones comerciales. Una vez obtenida, se realiza el análisis de Pareto para lograr segmentar los ítems y el impacto que tiene cada uno de estos con respecto a los costos.

Después de este análisis se toma como referencia los ítems de mayor rotación para realizar el modelo matemático, se analiza los resultados y se realiza las recomendaciones y conclusiones con base en estos.

## **1.6 Estructura del proyecto**

El presente proyecto está compuesto de cinco capítulos divididos de la siguiente manera:

Capítulo 1.- En este capítulo se desarrolla los antecedentes del proyecto, se describe la problemática, los objetivos generales, específicos y la metodología por utilizar.

Capítulo 2.- En este capítulo se desarrolla el marco teórico del proyecto, se describe herramientas técnicas obtenidas en libros, papers, artículos o revistas que están relacionados con este proyecto. Así mismo, se revisa investigaciones científicas.

Capítulo 3.- En este capítulo se explica la situación actual de la empresa, se analiza la problemática, se realiza la clasificación de los ítems y se recopila información mensual de los consumos.

Capítulo 4.- En este capítulo se desarrolla el modelo matemático cuya función objetivo es disminuir los costos, así como identificar las restricciones. Posteriormente se analizan los resultados obtenidos con la aplicación del modelo.

Capítulo 5.- En este capítulo se realizan las conclusiones y recomendaciones con relación a los resultados obtenidos luego de haber implementado el modelo matemático.

# CAPÍTULO 2

## 2. MARCO TEÓRICO

Este capítulo contiene el marco teórico en el que se sustenta la investigación. Su objetivo consiste en dar a conocer de manera coherente y coordinada la fundamentación de esta, de acuerdo con definiciones y estudios realizados de tal forma que el problema pueda ser abordado con una estructura lógica y bases teóricas.

### 2.1 Revisión de la literatura

Todas las compañías tienen como objetivo reducir los costos de la operación, también aumentar las ganancias de sus accionistas, para llegar a cumplir estas metas es importante tener claro los procesos logísticos. La gestión de inventario es un medio para llegar a reducir los costos y la correcta administración de las bodegas y control de inventario. (García Salinas & Moreno Lau, 2019).

### 2.2 Gestión de inventarios

De acuerdo con (Arenal, 2020):

En una compañía existe un elemento muy importante como la correcta gestión de inventarios, se lo considera un elemento clave de la misma. Las actividades inherentes a la misma corresponden al establecimiento con métodos de registro, puntos de rotación, formas de clasificación y los modelos de inventario determinados por los métodos de control. (pág. 7)

### **2.3 Importancia de la gestión de inventarios**

Para un adecuado funcionamiento de la producción y para un buen servicio al cliente, el proceso de gestión de stock es valioso y crítico para el desempeño de las empresas.

Para tener un buen almacenamiento se debe tener la mayor precisión de las cantidades de los materiales ubicados dentro de la bodega, al tener un mejor control de los materiales se reducirá el costo de almacenamiento y también podrá obtener información inmediata para la compra de materiales que están próximos a tener quiebre de inventario.

La necesidad de tener todos los materiales ordenados y ubicados correctamente dentro de la bodega ayuda a minimizar los costos operativos, con esto se evita de tener gastos adicionales, tiempo de hombre adicional, errores en conteos y quiebre de inventario.

No es recomendable tener exceso de inventario porque genera desgaste en la operación y con la probabilidad que los materiales lleguen a cumplir su vencimiento.

Es valioso tener una política de inventario donde se determina los niveles de eficiencia de stock de los materiales, de esta forma se pueda llegar a minimizar los costos y aumentar el nivel de servicio dentro de la compañía.

“Por tanto, es muy importante definir políticas de inventario que permitan a la empresa mantener un nivel eficiente de stock, reduciendo los costos de mantenimiento y a su vez que garanticen un mejor nivel de servicio a los usuarios. La política de inventarios responde a las siguientes preguntas” (Zapata, 2014):

1. ¿Cuánto se debe pedir?
2. ¿Cuándo se debe colocar el o los pedidos?

## 2.4 Ley de Pareto

El principio de la ley de Pareto se utiliza en el método de clasificación ABC para categorizar los artículos en una bodega, dividiéndolos en tres categorías: A, B y C, con base en el criterio elegido. De esta manera, se destina más recursos a los ítems que son claves para la empresa, las del grupo A (Huitron Soto, 2020).

**Artículos con rotación A:** Suelen ocupar el 20% de los inventarios, pero son los que mayor rotación tienen y por tanto tienen importancia estratégica. A este grupo también pertenecen los SKU que por sus características son claves para el funcionamiento de la empresa (Huitron Soto, 2020).

**Artículos con rotación B:** Suelen ocupar el 30% de los inventarios y comprenden la franja de rotación media. El aprovisionamiento de estos artículos puede funcionar con la regla de stock mínimo/máximo, en lugar de estar sujeto a un control minucioso con relación a las compras y la emisión de pedidos continuos como ocurre con los artículos de categoría A (Huitron Soto, 2020).

**Artículos con rotación C:** Suelen ocupar el 50% de los inventarios y son los más numerosos. Al no ser artículos estratégicos su reabastecimiento puede ajustarse con stock de seguridad. Estos artículos merecen atención para que no formen parte de productos obsoletos o sin rotación (Huitron Soto, 2020).

## 2.5 Series de tiempo

Una serie de tiempo es una secuencia de observaciones medidas en determinados momentos del tiempo, ordenadas cronológicamente y espaciadas entre sí de manera uniforme. Son datos estadísticos que se recopilan, observan o registran en intervalos de tiempos regulares (diario, semanal, semestral, anual). El principal objetivo de una serie de tiempo es proporcionar un análisis estadístico que permita obtener un pronóstico (Pricing revenue management, s.f.).

## 2.6 Predicción - Pronóstico

**Predicción:** Se refiere a la acción de predecir, es un anuncio o revelación que se piensa de lo que puede suceder, se utiliza el acierto. Es una declaración de los hechos que pueden ocurrir en el futuro. En el contexto científico la predicción es una declaración precisa de lo que sucederá si se cumplen determinadas condiciones. La predicción es un presentimiento sin fundamento científico (Diferencias, s.f.).

**Pronóstico:** Es un conocimiento anticipado de un suceso, es una herramienta de predicción que permite tomar decisiones adecuadas con base en un análisis. El pronóstico se fundamenta en estadísticas y proyecciones (Diferencias, s.f.).

### 2.6.1 Modelo AR (p)

De acuerdo con (Pallavicini, 2013):

Un modelo autoregresivo se abrevia con las siglas AR(p), donde p indica el orden del modelo, es decir, la cantidad de observaciones pasadas que se utilizarán para predecir la serie de tiempo. Por ejemplo, un modelo con una observación de retraso se denominaría por AR (1). Es importante destacar que los modelos AR funcionan con base en un operador trasladador al pasado.

La forma general de determinar un modelo AR(p), es decir, de cualquier orden, se escribe como muestra la ecuación 2.1 (Pallavicini, 2013):

$$Y_t = \emptyset_0 + \emptyset_1 Y_{t-1} + \emptyset_2 Y_{t-2} + \dots + \emptyset_p Y_t - p + at \quad (2.1)$$

Donde:

$a_t$ : ruido blanco o término de error de la serie de predicción de tiempo.

$\phi_p(B)$ : operador trasladador al pasado del modelo AR(p).

El modelo puede escribirse de forma abreviada aplicando simplemente la notación del operador (ver ecuación 2.2).

$$\phi_p(B)Y_t = \phi_0 + a_t \quad \mathbf{(2.2)}$$

Cabe destacar que  $a_t$  se considera como ruido blanco, si y solo si, presenta media nula, varianza constante y covarianza nula entre errores correspondientes a observaciones diferentes. Esto para todos los modelos auto regresivos donde se determine ruido blanco en su término de error. Para ejemplificar la funcionalidad del modelo en series de tiempo se presenta un modelo AR de orden 1, una vez aplicado el operador trasladador al pasado queda como se observa en la ecuación 2.3 (Pallavicini, 2013):

$$Y_t = \phi_0 + \phi_1 Y_{t-1} - 1 + a_t \quad \mathbf{(2.3)} \quad (\text{págs. 5-6})$$

### **2.6.2 Modelo MA(q)**

Para (Pallavicini, 2013) el método de medias móviles (MA):

Es aquel que explica el valor de una determinada variable en un período  $t$  en función de un término independiente y una sucesión de errores correspondientes a períodos anteriores al que se está analizando y ponderado convenientemente.

Una serie de tiempo predicha por un modelo de media móvil con q grados de libertad viene dado por la ecuación 2.4:

$$Y_t = \mu + at + \phi_1 a(t-1) + \phi_2 a(t-2) + \dots + \phi_q a(t-q) \quad \mathbf{(2.4)}$$

Este modelo puede abreviarse utilizando el operador trasladador al pasado (como en el caso de los modelos AR), quedando la ecuación 2.5:

$$Y_t = \phi_q(B)at + \mu \quad \mathbf{(2.5)}$$

Al igual que en el caso de los modelos autorregresivos, el orden de los modelos de medias móviles suele ser bajo MA(1), MA(2) o corresponderse con la periodicidad de los datos analizados MA(4), para series trimestrales, o MA(12) para series mensuales.

Un modelo de medias móviles es siempre estacionario, y puede obtenerse básicamente de un modelo de autoregresión AR sin más que realizar sucesivas sustituciones. Un ejemplo de modelo de medias móviles con q igual a 1 se representaría tal como se muestra en la ecuación 2.6:

$$Y_t = \phi_q(B)at + \mu \quad \mathbf{(2.6)}$$

Se puede observar que el factor de un proceso MA (q) es cero para los "rezagos" mayores que q, contrariamente a lo que sucede en el proceso AR común. (págs. 6-7)

### 2.6.3 Modelo ARMA(p,q)

(Pallavicini, 2013) establece lo siguiente:

Dada una serie temporal de datos  $X_t$ , el modelo ARMA es una herramienta para entender y para predecir futuros valores de la serie. El modelo está formado por dos partes, una autoregresiva (AR) y otra de media móvil (MA). El modelo se conoce con el nombre de modelo ARMA (p,q), donde p es el orden de la parte autorregresiva y q es el orden de la parte de media móvil.

De los modelos anteriormente mencionados existe otro modelo más complejo llamado ARMA el mismo que sale de la combinación de los modelos AR y MA. Este modelo ARMA predice una serie de tiempo y en algunos casos ajusta la predicción de la serie.

Este tipo de modelos son utilizados con mucha frecuencia en varias áreas como la economía donde las variables en un instante t arrojan resultados no determinísticos, es decir, estocásticas. Salvo casos como la predicción de años, es intuitivo la determinación de modelos de este tipo.

Un modelo ARMA, también conocido como modelo autoregresivo de medias móviles, tiene una estructura combinatoria de las dos técnicas, es decir, su estructura facilita la predicción de un modelo con un número de parámetros muy grande. (págs. 8-9)

## 2.7 Modelo matemático

(Martínez, Vértiz, López, Jiménez, & Moncayo, 2014) establecen lo siguiente:

Un modelo matemático consta de tres elementos o condiciones básicas: las variables de decisión que son incógnitas que deben ser determinadas a partir de la solución del modelo, la función objetivo y las restricciones. El modelo matemático busca representar una realidad mediante el uso de relaciones matemáticas a través de la lógica, con el objetivo de ayudar en el proceso de toma de decisiones.

Al constituir una herramienta para la toma de decisiones, el modelo matemático debe necesariamente incluir en su totalidad las alternativas entre las cuales se deberá tomar la decisión, las restricciones que existen y la medida con la que se evaluarán las alternativas, de acuerdo con el objetivo que se quiere lograr.

En general un modelo matemático se representa mediante el siguiente formato: maximizar o minimizar la función objetivo sujeto a restricciones. Esta debe expresar la meta que se quiere lograr, por ejemplo: maximizar las ganancias, minimizar costos, el número de trabajadores, el tiempo muerto, los desperdicio, entre otros.

Las restricciones expresan limitaciones en los recursos o características de la naturaleza del sistema a modelar. La solución obtenida al resolver el modelo debe cumplir con todas las restricciones y la información del sistema estar expresada a través de parámetros. Un parámetro es un dato dado con antelación que corresponde a un valor

real o supuesto del sistema. Típicamente, los costos, las demandas de los clientes, las distancias, las capacidades y el tiempo de procesamiento, entre otros son vistos como parámetros.

Las soluciones del sistema están dadas mediante variables, usualmente llamadas de decisión. Para solucionar el modelo matemático, siempre es necesario determinar el valor que deberían tomar las variables, que representan aspectos que el tomador de decisión puede controlar. Algunos ejemplos de variables son cantidades de productos por producir o enviar a cada cliente, la decisión de instalar o no un almacén en cierta ubicación, de invertir o no en cierto proyecto, la cantidad de trabajadores por contratar, entre otros. (pág. 5)

### **2.7.1 Programación entera mixta**

(Julca, Malca, & Saravia, 2016) afirman que:

La programación lineal entera es el modelo de programación lineal con la restricción de que las variables deben tener valores enteros y el supuesto de divisibilidad.

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \text{ y entera } \varepsilon [0,1], x$$

La clasificación del modelo de programación lineal entera se divide en tres:

- P.L.E Pura: Todas las variables de decisión son enteras.
- P.L.E Mixta: Algunas variables de decisión son enteras.
- P.L.E Binaria: Todas las variables de decisión son binarias.

Basados en los siguientes criterios:

- Directo: Cuando el programa incluye variables enteras.
- Codificado: Cuando el programa incluye variables enteras o binarias.
- Transformado: Cuando el programa incluye variables enteras artificiales.

Para encontrar la solución óptima del problema de programación lineal se asocian diferentes métodos entre ellos tenemos:

- Método Gráfico: Este método emplea un sistema de ejes y coordenadas definidos por la inecuación y las restricciones. Se utiliza con solo dos variables de decisión.
- Método Simplex: Este método elaborado por George Dantzing en 1947, localiza una solución óptima basada en una solución básica factible. Lee Krajewski, Larry Ritzman y Manoj Malhotra. (2008) lo definen en su libro como "Un procedimiento algebraico iterativo para resolver problemas de programación lineal".

El modelo de PLE debe cumplir las siguientes condiciones:

1. El objetivo es maximizar las utilidades incrementando la producción
2. Las variables son números enteros y positivos.
3. Convertir las restricciones con signos de desiguales a igualdades estrictas. (págs. 14-15)

## 2.8 Software para modelos matemáticos

(Carrera, 2017) sobre los softwares para modelos matemáticos establece lo siguiente:

Gams: General Algebraic Modeling System (GAMS) es una herramienta con un lenguaje de modelación en donde se puede resolver un problema de programación matemática, con una independencia del tipo de método que se utilice para resolver dicho problema.

GAMS posee la ventaja de sacar todo el provecho al lenguaje de modelación, al igual que para resolver problemas lineales, enteros y no lineales. Así mismo existen otros optimizadores como XPRESS, CPLEX para problemas LP y MIP. GAMS logra separar todo el programa en dos etapas, la etapa en donde se halla la descripción del problema a plantearse y la etapa de resolución del problema, aislándolas, una de la otra.

En la primera fase hay que definir las ecuaciones, variables y constantes a usar en la resolución que nos plantearemos, así como la estructura del programa a realizar, es decir, el tipo de variables y relaciones que van a tener estas variables para la resolución del problema. Entre las estructuras que maneja GAMS se encuentran:

- Programación Lineal (LP).
- Programación Lineal Entera Mixta (MILP).
- Programación No Lineal (NLP).
- Programación No Lineal Entera Mixta (MINLP). (pág. 64)

(Alba & Torres, 2019) realizan la siguiente afirmación:

Wolfram: Aplicación que ayuda a los estudiantes en la resolución de sus tareas, responde preguntas que se puedan tener sobre determinados hechos, productos y otras cosas, a través de una base de datos estructurada. Wolfram fue desarrollado por la compañía Wolfram Research. Fue anunciado en marzo de 2009 por el físico británico Stephen Wolfram y está en funcionamiento desde el 15 de mayo de 2009.

Hay dos formas a través de las cuales se puede responder una pregunta. Por un lado, cuenta con un lenguaje particular llamado Matemática, también desarrollado por Wolfram Research, Este lenguaje permite buscar en una base de datos estructurada y curada por la compañía, y se diferencia por el hecho de que no está haciendo una indexación, sino que realmente está respondiendo una pregunta.

## **2.9 Investigaciones relacionadas al proyecto**

### **2.9.1 Mejora de los flujos logísticos en el proceso de recepción en un almacén**

Este trabajo está relacionado con la mejora en el flujo de recepción en un almacén de una empresa dedicado a la venta de sistemas de seguridad, comunicación, alarmas de incendios y pantallas electrónicas en el distrito de Aveiro. Para realizar esta mejora se usó un software de simulación industrial Arena con el objetivo de equilibrar los puestos de trabajo existentes.

Se logró ahorros significativos en costos operativos, reducción de la hora de rendimiento al 28% y un reducido número de estaciones de trabajo, así como una mayor capacidad para recibir materiales. El cambio en el diseño

permitió mejoras a nivel ergonómico y una mejor organización a través del uso de las 5s teniendo un impacto positivo en las condiciones de trabajo de los empleados (Alfonso, Oliveira Pimentel, Godina, De Oliveira Matias, & Palavra Garrido , 2022).

### **2.9.2 Modelos de optimización para gestión del inventario con limitado número de artículos en stock**

En esta investigación se buscó explorar enfoques para la gestión de existencias y la minimización de los costos en el que se propone determinar los tamaños óptimos de suministros de diferentes tipos de existencias. Se utilizó métodos de optimización matemática, métodos de mínimos cuadrados y análisis de regresión. Los modelos matemáticos para optimizar el costo total de administración deben ser usado por los gerentes para minimizar el costo total de la administración del inventario (Valisev & Milkowa, 2022).

### **2.9.3 Un modelo de inventario para medicamentos en deterioro con tiempo de entrega estocástico**

El manejo y gestión de inventarios de medicamentos perecibles tiene importancia relevante en los hospitales. La dificultad del manejo de este inventario se debe a que los medicamentos tienen vida corta y por otro lado los hospitales quieren mantener un alto nivel de servicio. Se requiere un equilibrio entre vida útil y nivel de servicio, para ello en este trabajo se realizó un modelo de inventario de tiempo de entrega estocástico para medicamento con demanda fija. Se realizaron análisis empíricos y de sensibilidad para llegar a conclusiones importantes buscando garantizar disponibilidad al 100% en el momento adecuado al costo adecuado y que sean entregados en buenas condiciones al paciente (Li, Liu, Hu, Zhao, & Guo, 2018).

Este paper tiene relación con el proyecto porque se relaciona con el correcto manejo del inventario en función de la demanda y porque tiene cierta similitud en las restricciones.

#### **2.9.4 Aplicación de técnicas de optimización en la cadena de suministro lácteo: una revisión sistemática**

La modernización ha logrado que la industria láctea mejore sus eficiencias operativas mediante la implementación de técnicas de optimización más efectivas. El objetivo de este estudio fue explorar las técnicas de optimización implementadas en la cadena de suministro de lácteos a través de una revisión sistemática de la cadena de suministro y el uso de la estadística descriptiva para el análisis estadístico.

Esta investigación muestra como las técnicas de optimización están relacionadas con cada fase del DSC (Data Supply Chain) y como las nuevas tecnologías han afectado la cadena de suministro (Malik, Kumar Gahlawat, Mor, Dahiya, & Yadav, 2022).

En referencia al DSC esto se aplica en el proyecto en el proceso de compra, almacenamiento e inventario.

#### **2.9.5 Control de inventario conjunto y fijación de precios en un sistema de inventario de servicios.**

En este documento trata del manejo de inventarios de los materiales disponibles en un tiempo para satisfacer las necesidades de los clientes. El control de inventarios tiene como característica importante de los inventarios estándares, por ejemplo, el pedido de un accesorio para ser instalado en un predio y que usuario cuente con el servicio. La empresa tiene sus propias políticas de inventario para llevar el mejor control y ahorro de costos operativos. Los pedidos se realizan de forma exponencial para cumplir con la demanda. Es valioso tener control en las bodegas para cumplir con los pedidos de los clientes caso contrario se perderán varios clientes. (Jalili Manrad & Thorstenson, 2017).

Este paper se relaciona con este proyecto en el control y manejo de inventarios para satisfacer la demanda del cliente.

### **2.9.6 Mejora del rendimiento de los juegos móviles con técnicas básicas de optimización en unidad**

El proceso de crear un video juego es muy complejo y mucho más si se trata de juegos móviles debido a que requiere tener en cuenta diversas limitaciones en hardware y software. Los juegos móviles se limitan a los recursos que ofrecen sus plataformas versus las consolas de juegos y computadores personales.

El desarrollo de un video juego debe desarrollarse con mucho cuidado por tanto las técnicas de optimización se pueden aplicar en las diferentes etapas del desarrollo. Para este estudio se crearon dos modelos para estudiar las diferencias en el rendimiento aplica técnicas básicas de optimización, como el recuento bajo de polígonos para los modelos y el algoritmo de agrupación de objetos y el otro sin que se aplique estas técnicas de optimización.

El resultado que se logro es que el modelo optimizado genere mejor experiencia al usuario y necesita de menos recursos para su funcionamiento lo que implica que en videojuegos más complejos al aplicar estos modelos de optimización van a impactar positivamente en rendimiento del video juego final. (Koulaxidis & Xinogalos, 2022)

Este paper tiene relación con el presente proyecto en referencia a las simulaciones o escenarios que se realiza en el modelo matemático con el objetivo de generar un mayor ahorro y beneficio a la empresa.

### **2.9.7 Modelo de conductividad térmica de refrigerantes de bajo global warming potential (GWP) con optimización multiobjeto**

El presente trabajo se realizó de acuerdo a la importancia de las aplicaciones en HVAC&R, se buscó encontrar los coeficientes de una ecuación para describir la térmica conductividad de refrigerantes con bajo potencial de calentamiento global (GWP). Por primera vez se usó el algoritmo NSGAI para describir una propiedad termo física como la conductividad térmica.

La solución óptima mostrada en la frontera de Pareto fue elegida a través de un análisis comparativo entre diez métodos. El procedimiento generó un nuevo conjunto de coeficiente de la ecuación estudiada que disminuyó su promedio desviación en un 0,24% lo que dio como resultado un mejor rendimiento en toda la base de datos. Este trabajo abrirá nuevos escenarios para futuras aplicaciones para otras propiedades termo físicas que aún no han sido analizadas (Pierantozzi, Tomassetti, & Di Nicola, 2022).

### **2.9.8 Los efectos de las diferentes estrategias de integración de la cadena de suministro en recuperación de interrupciones: un estudio de dinámica de sistema sobre la industria quesera**

Las cadenas de suministros cuando son largas y complejas pueden tener interrupciones serias y una manera de resolverlos es la gestión con éxito a través de la integración de la cadena de suministro (SCI). Este trabajo está enfocado en la cadena de suministro de una industria quesera la misma que se compone de tres empresas individuales un producto, un servicio de logística y un minorista.

El propósito de este trabajo es estudiar los efectos de las estrategias SCI a través de tres enfoques, integración de información, integración relacional e integración operativa en la recuperación de tres tipos de escenarios capacidad del productor, capacidad del logistic service provider (LSP) y demanda. Se analizó los escenarios y los resultados muestran que la integración de la información proporciona una ventaja competitiva, el trabajo integrado como socios genera mayores beneficios, y la eliminación de la demora en la información logra el mejor rendimiento (Zhu, Krikke, & C. J. Caniëls, 2021).

# CAPÍTULO 3

## 3. METODOLOGÍA

El presente capítulo tiene como objetivo conocer la situación actual de la empresa, así como de describir el proceso actual como se realizan las proyecciones, ingreso de requisiciones, despacho de materiales y para finalizar describir la problemática del proyecto, así como la respectiva recopilación de información para el desarrollo de este. Adicionalmente se incluirá la clasificación de los ítems.

### 3.1 Generalidades de la empresa

Es la primera empresa ecuatoriana que opera en Guayaquil desde la concesión en el año 2021, opera principalmente en el sector de agua y residuos. A lo largo de este periodo ha logrado avanzar en muchos proyectos en beneficio de la comunidad garantizando el servicio continuo sin interrupción.

### 3.2 Actividades que se ejecutan en el área de Operaciones

El área de operaciones se desarrollan las siguientes actividades:

- Primeras instalaciones: Esta actividad se trata cuando se instala por primera vez medidor en un predio sea de tipo industrial o residencial.
- Individualizaciones: En esta actividad se trata cuando en un predio se instalan varios medidores para separar los consumos de cada unidad funcional, pueden ser departamentos o locales comerciales.
- Cortes & reconexiones: En esta actividad es cuando se realiza corte del servicio de agua por falta de pago y en el caso de reconexiones, la actividad se refiere a una vez realizado el pago se habilita el servicio.
- Mantenimientos. Estas actividades se refieren a cambios de medidores por vida útil, medidores robados.

Estas actividades son realizadas por contratistas y también por cuadrillas integradas por personal de la empresa.

### 3.3 Proceso actual de proyecciones

Los supervisores de cada área se reúnen con el asistente técnico y la jefatura del área de mantenimiento para la elaboración de proyecciones de consumo de materiales para cada una de las actividades mencionadas en el numeral anterior.

Para realizar la proyección de consumo se toma como referencia las cantidades que se compró el año anterior más un porcentaje de incremento. A continuación, en las tablas 3.1 y 3.2 se muestran los cuadros del presupuesto, como se puede apreciar las cantidades son planas en la proyección para todos los meses.

**Tabla 3.1 Presupuesto de cajas**

CAJAS		PE 2022												Total Año	
	Descripción	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre		
MR-VA-09598/41	Número Cajetines 1/2"	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	16.000
	Valor Unitario Cajetin 1/2"	\$ 13,14	\$ 13,14	\$ 13,14	\$ 13,14	\$ 13,14	\$ 13,14	\$ 13,14	\$ 13,14	\$ 13,14	\$ 13,14	\$ 13,14	\$ 13,14	\$ 13,14	
	Total Valor Cajetin 1/2"	\$ 18.396,00	\$ 18.396,00	\$ 18.396,00	\$ 18.396,00	\$ 18.396,00	\$ 18.396,00	\$ 18.396,00	\$ 18.396,00	\$ 18.396,00	\$ 18.396,00	\$ 18.396,00	\$ 18.396,00	\$ 18.396,00	\$ 220.752,00
MR-VA-09587/21	Número Cajas 3/4"	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	540
	Valor Unitario Caja 3/4"	\$ 40,00	\$ 40,00	\$ 40,00	\$ 40,00	\$ 40,00	\$ 40,00	\$ 40,00	\$ 40,00	\$ 40,00	\$ 40,00	\$ 40,00	\$ 40,00	\$ 40,00	
	Total Valor Caja 3/4"	\$ 1.800,00	\$ 1.800,00	\$ 1.800,00	\$ 1.800,00	\$ 1.800,00	\$ 1.800,00	\$ 1.800,00	\$ 1.800,00	\$ 1.800,00	\$ 1.800,00	\$ 1.800,00	\$ 1.800,00	\$ 1.800,00	\$ 21.600,00
	Número Cajas 1" y 1 1/2"	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	180
	Valor Unitario Caja 1" y 1/2"	\$ 194,88	\$ 194,88	\$ 194,88	\$ 194,88	\$ 194,88	\$ 194,88	\$ 194,88	\$ 194,88	\$ 194,88	\$ 194,88	\$ 194,88	\$ 194,88	\$ 194,88	
	Total Valor Caja 1" y 1/2" clase B	\$ 2.923,20	\$ 2.923,20	\$ 2.923,20	\$ 2.923,20	\$ 2.923,20	\$ 2.923,20	\$ 2.923,20	\$ 2.923,20	\$ 2.923,20	\$ 2.923,20	\$ 2.923,20	\$ 2.923,20	\$ 2.923,20	\$ 35.078,40
MR-VA-09587/81	Número Cerco Metálico 2100 MM. X 700MM	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	60
	Valor Unitario Cerco Metálico 2100 MM. X 700MM	\$ 358,40	\$ 358,40	\$ 358,40	\$ 358,40	\$ 358,40	\$ 358,40	\$ 358,40	\$ 358,40	\$ 358,40	\$ 358,40	\$ 358,40	\$ 358,40	\$ 358,40	
	Total Valor Cerco Metálico 2100 MM. X 700MM	\$ 1.792,00	\$ 1.792,00	\$ 1.792,00	\$ 1.792,00	\$ 1.792,00	\$ 1.792,00	\$ 1.792,00	\$ 1.792,00	\$ 1.792,00	\$ 1.792,00	\$ 1.792,00	\$ 1.792,00	\$ 1.792,00	\$ 21.504,00
MR-VA-09587/91	Número Cerco Metálico 2500 MM. X 800 MM	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	60
	Valor Unitario Cerco Metálico 2500 MM. X 800 MM	\$ 369,55	\$ 369,55	\$ 369,55	\$ 369,55	\$ 369,55	\$ 369,55	\$ 369,55	\$ 369,55	\$ 369,55	\$ 369,55	\$ 369,55	\$ 369,55	\$ 369,55	
	Total Valor Cerco Metálico 2500 MM. X 800 MM	\$ 1.847,75	\$ 1.847,75	\$ 1.847,75	\$ 1.847,75	\$ 1.847,75	\$ 1.847,75	\$ 1.847,75	\$ 1.847,75	\$ 1.847,75	\$ 1.847,75	\$ 1.847,75	\$ 1.847,75	\$ 1.847,75	\$ 22.173,00
PPTO 2022	Cajas	\$ 26.758,95	\$ 26.758,95	\$ 26.758,95	\$ 26.758,95	\$ 26.758,95	\$ 26.758,95	\$ 26.758,95	\$ 26.758,95	\$ 26.758,95	\$ 26.758,95	\$ 26.758,95	\$ 26.758,95	\$ 26.758,95	\$ 321.107,40

Fuente: Empresa, 2023

**Tabla 3.2 Presupuesto de materiales varios**

MAT. P. INST. Y REP. DE MEDIDORES Y GUIAS DE AA.PP. 5.01.02.05

PPTO 2022													
CANTIDAD	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total Año
Bushing	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	3.360
Codos	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	5.880
Uniones granadas para PEAD	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	8.400
Teflon	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	8.400
Reductores	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	5.040
Empaques	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	8.400
Uniones	959	959	959	959	959	959	959	959	959	959	959	959	11.508
Tee	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	504
Neplos	959	959	959	959	959	959	959	959	959	959	959	959	11.508
Adaptadores	434	434	434	434	434	434	434	434	434	434	434	434	5.208
<b>VALOR UNITARIO</b>													
Valor Unitario Bushing	\$ 0,36	\$ 0,36	\$ 0,36	\$ 0,36	\$ 0,36	\$ 0,36	\$ 0,36	\$ 0,36	\$ 0,36	\$ 0,36	\$ 0,36	\$ 0,36	\$ 4,32
Valor Unitario Codos	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 6,75
Valor Unitario Uniones granadas para PEAD	\$ 4,50	\$ 4,50	\$ 4,50	\$ 4,50	\$ 4,50	\$ 4,50	\$ 4,50	\$ 4,50	\$ 4,50	\$ 4,50	\$ 4,50	\$ 4,50	\$ 53,98
Valor Unitario Teflon	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 6,75
Valor Unitario Uniones	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 6,75
Valor Unitario Reductores	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 6,75
Valor Unitario Uniones	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 6,75
Valor Unitario Tee	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 6,75
Valor Unitario Neplos	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 6,75
Valor Unitario Adaptadores	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 0,56	\$ 6,75
<b>VALOR TOTAL</b>													
Total Valor Bushing	\$ 100,75	\$ 100,75	\$ 100,75	\$ 100,75	\$ 100,75	\$ 100,75	\$ 100,75	\$ 100,75	\$ 100,75	\$ 100,75	\$ 100,75	\$ 100,75	\$ 1.209,04
Total Valor Codos	\$ 275,50	\$ 275,50	\$ 275,50	\$ 275,50	\$ 275,50	\$ 275,50	\$ 275,50	\$ 275,50	\$ 275,50	\$ 275,50	\$ 275,50	\$ 275,50	\$ 3.305,97
Total Valor Uniones granadas para PEAD	\$ 3.148,54	\$ 3.148,54	\$ 3.148,54	\$ 3.148,54	\$ 3.148,54	\$ 3.148,54	\$ 3.148,54	\$ 3.148,54	\$ 3.148,54	\$ 3.148,54	\$ 3.148,54	\$ 3.148,54	\$ 37.782,53
Total Valor Teflon	\$ 393,57	\$ 393,57	\$ 393,57	\$ 393,57	\$ 393,57	\$ 393,57	\$ 393,57	\$ 393,57	\$ 393,57	\$ 393,57	\$ 393,57	\$ 393,57	\$ 4.722,82
Total Valor Reductores	\$ 236,14	\$ 236,14	\$ 236,14	\$ 236,14	\$ 236,14	\$ 236,14	\$ 236,14	\$ 236,14	\$ 236,14	\$ 236,14	\$ 236,14	\$ 236,14	\$ 2.833,69
Total Valor Uniones	\$ 393,57	\$ 393,57	\$ 393,57	\$ 393,57	\$ 393,57	\$ 393,57	\$ 393,57	\$ 393,57	\$ 393,57	\$ 393,57	\$ 393,57	\$ 393,57	\$ 4.722,82
Total Valor Uniones	\$ 539,19	\$ 539,19	\$ 539,19	\$ 539,19	\$ 539,19	\$ 539,19	\$ 539,19	\$ 539,19	\$ 539,19	\$ 539,19	\$ 539,19	\$ 539,19	\$ 6.470,26
Total Valor Tee	\$ 23,61	\$ 23,61	\$ 23,61	\$ 23,61	\$ 23,61	\$ 23,61	\$ 23,61	\$ 23,61	\$ 23,61	\$ 23,61	\$ 23,61	\$ 23,61	\$ 283,37
Total Valor Neplos	\$ 539,19	\$ 539,19	\$ 539,19	\$ 539,19	\$ 539,19	\$ 539,19	\$ 539,19	\$ 539,19	\$ 539,19	\$ 539,19	\$ 539,19	\$ 539,19	\$ 6.470,26
Total Valor Adaptadores	\$ 244,01	\$ 244,01	\$ 244,01	\$ 244,01	\$ 244,01	\$ 244,01	\$ 244,01	\$ 244,01	\$ 244,01	\$ 244,01	\$ 244,01	\$ 244,01	\$ 2.928,15
<b>PPTO2022</b>													
	\$ 5.894,07	\$ 5.894,07	\$ 5.894,07	\$ 5.894,07	\$ 5.894,07	\$ 5.894,07	\$ 5.894,07	\$ 5.894,07	\$ 5.894,07	\$ 5.894,07	\$ 5.894,07	\$ 5.894,07	\$ 70.728,89

Fuente: Empresa, 2023

### 3.4 Proceso actual de requisiciones

Una vez aprobado el presupuesto se realiza el ingreso de las respectivas requisiciones en el sistema. Los ingresos se realizan de manera trimestral. Las requisiciones tienen dos etapas la primera etapa empieza con el ingreso, se genera requisiciones de tipo O1 (requisición de bienes inventario), que afectan al presupuesto Opex (gastos de materiales). Para una mejor visualización se adjunta la figura 3.1 en donde se puede observar los niveles de aprobación:

- Primer nivel de aprobación: es el área de control de gestión quienes control el presupuesto anual de gastos de materiales.
- Segundo nivel de aprobación: es la jefatura de bodega.

**Figura 3.1 Flujo de aprobación de requisición**



Una vez aprobado por la jefatura del área de inventarios las requisiciones pasan al área de compras, el comprador asignado se encarga de realizar cotizaciones mínimo a tres proveedores, realiza cuadros comparativos buscando al proveedor que ofrezca el bien solicitado con el menor precio. Una vez aprobada la cotización se genera la OP (orden de Compra). Estas tienen su respectivo nivel de aprobación de acuerdo con el monto total de la OP, se detalla el flujo de aprobación, así como la figura 3.2 para mejor visualización.

- Primer nivel de aprobación: es la jefatura del área de compras.
- Segundo nivel de aprobación: es la gerencia del área de compras.
- Tercer nivel de aprobación: es la directora del área financiera.
- Cuarto nivel de aprobación: es la del gerente general.

**Figura 3.2 Flujo de aprobación de orden de compra**



Fuente: Elaboración propia, 2023

Existen algunos materiales que se compran a proveedores locales, pero estos a su vez realizan importación por tanto se demoran 90 días en la entrega de estos desde que se emite la orden de compra, este tiempo se debe a los días que demora el tránsito marítimo más los tiempos de nacionalización que puede tomar aproximadamente de 4 a 7 días una vez que el buque atraca en puerto. En la tabla 3.3 adjunta se detalla ítems cuyo lead time es de 90 días.

**Tabla 3.3 Ítems con lead time (90 días)**

CÓDIGO LATIS	DESCRIPCIÓN	LEAD TIME EN DÍAS
ECMR03560	FILTRO BRIDADO DN 50 (2")	90
ECMR00666	LLAVE DE BOLA RECTA CORTE INVOLABLE 20MM X 3/4"	90
ECMR00709	MEDIDOR DN 15 DIAM 1/2" DIST 115 MM RANGO100 Q3 25 M3/H	90
ECMR00717	MEDIDOR DN 15 DIAM 1/2" DIST 115 MM RANGO315 Q3 25 M3	90
ECMR06952	MEDIDOR INALAMBRICO DE 15MM CON VALVULA	90
ECVA03234	VALVULA COMPUERTA SELLO ELAST B-B PN10 DN80MM PERNO Y EMPAQ	90
ECVA03233	VALVULA COMPUERTA SELLO ELASTB-B PN10 DN50MM PERNO Y EMPAQ	90
ECMR00619	VALVULA D BOLA CON MARIPOSA 3/4" TUERCA LOCA X 1/2"	90
ECMR00618	VALVULA DE BOLA MANIJA-CORTE 1/2" H X 3/4" TUERCA LOCA	90

Fuente: Empresa, 2023

Adicional hay otro grupo de materiales que son utilizados por las cuadrillas propias de la empresa, se adjunta cuadro con el detalle de estos materiales, los mismos son indispensables para la ejecución de las tareas diarias. En la tabla 3.4 adjunta se detalla los ítems que son de uso exclusivo de las cuadrillas de la empresa.

**Tabla 3.4 Ítems uso de cuadrillas**

DESCRIPCIÓN
ACEITE PENETRANTE MULTI USOS (WD-40 SPRAY DE 11 OZ)
ADAPTADOR H-H 1/2 X PE 20MM
ADAPTADOR H-M 1/2 X PE 20MM
ARENA DE PRIMERA
CEMENTO (SACO)
CODO H-H 90º DE 1/2" PPROPILEN
LLAVE PENTAGONAL PARA ABRIR CAJETIN DE MEDIDORES
LLAVES DE 3 PUNTAS PARA ABRIR CAJETIN DE MEDIDORES
NEPLO 6 CM DE LARGO X 1/2" (POLIPROPILENO)
NEPLO PERDIDO PVC DE 1/2" X 4 CM
PIEDRA DE 3/4
TEFLON ( ROLLO )
TUBERIA PEAD PE 100 PN 10 BARS SDR 9 DN20MM (ROLLO X 100 MT)
TUBERIA PVC ROSCABLE 1/2" L=6M
UNION REDUCTORA HH 3/4" X 1/2" POLIPROPILENO
UNION RR 1/2" POLIPROPILENO

Fuente: Empresa, 2023

### 3.5 Problemática

A continuación, se detallan las problemáticas que existen:

- Cantidades proyectadas para el año no coinciden con el real.

En la tabla 3.5 adjunta se muestran que los consumos (unidades) del primer trimestre son mayores al consumo proyectado para el mismo periodo.

**Tabla 3.5 Consumo proyectado vs real**

DESCRIPCIÓN	PROYEC	PROYEC	PROYEC	TOTAL	CONSUM	CONSUM	CONSUM	TOTAL	DIFERENC
	CIÓN	CIÓN	CIÓN	PROYEC	O ENERO	O FEBRERO	O MARZO	CONSUM	A
	ENERO	FEBRERO	MARZO	CIÓN				O	
VALVULA D BOLA CON MARIPOSA 3/4" TUERCA LOCA X 1/2" H	2200	2200	2200	6600	3084	3168	3815	10067	3467
LLAVE DE BOLA RECTA CORTE INVIOLABLE 20MM X 3/4"	2200	2200	2000	6400	2484	3760	3736	9980	3580
VALVULA DE BOLA MANIJA-CORTE 1/2" H X 3/4" TUERCA LOCA	750	750	750	2250	1808	1464	2070	5342	3092

*Fuente: Empresa, 2023*

- Existen SKU's en stock que no reflejan consumo durante el año 2022 o en algunos casos tienen un consumo muy bajo. En la tabla 3.6 adjunta se detalla los ítems que no tuvieron consumo durante todo el año, estos materiales son de diámetro mayor a 2”.

**Tabla 3.6 Ítems con consumo 0**

DESCRIPCION	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL 2021
CAJETIN METALICO PARA VALVULA DE AA PP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KIT TRANSMISOR DE DATOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KIT DE REPARACION PARA MEDIDOR WOLTEX DE 6"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IMEDIDOR ULTRASONICO 4" METALICO BRIDADO - OCTAVE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IMEDIDOR 1/2" Q3=1,6 M3/H - R125 CHORR/UNICO ROSCA DIFERENCIADA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IMEDIDOR DN 100 DIAM 4" DIST 350 MM RANGO 315 Q3 100 M3/H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IMEDIDOR MODELO WESAN TIPO WOLTMAN BRIDADO DE 8" DN200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IMEDIDOR ELECTROMAGNETICO 2"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IMEDIDOR ELECTROMAGNETICO 4"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IMEDIDOR ELECTROMAGNETICO 6"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

*Fuente: Empresa, 2023*

- Cuando se realizan cambios masivos de medidores solo se pronostica el consumo de medidores y no de los accesorios ocasionando quiebres de inventario de los accesorios.
- Stock de SKU's obsoletos que no pueden ser utilizados.
- Aprovisionamiento de SKU's innecesarios debido a que no existe un adecuado sistema de aprovisionamiento.
- Proyección de presupuesto por debajo del real.

### 3.6 Clasificación de ítems

Para realizar la clasificación de ítems se categorizó en 4 tipos:

- Cajas
- Medidores
- Válvulas
- Varios

Una vez realizada la categorización de los ítems (163 ítems) se procede a realizar el análisis de Pareto. Para este análisis se calcula el porcentaje que representa cada ítem del total de unidades por cada una de las cuatro categorías.

Se adjunta las tablas 3.7, 3.8, 3.9 y 3.10 con los cuadros realizados del análisis de Pareto.

**Tabla 3.7 Pareto categorización cajas**

CAJAS					
CÓDIGO LAVIS	DESCRIPCIÓN	CONSUMO (UNIDADES)	PORCENTAJE	PORCENTAJE ACUMULADO	
1	CAJETIN PLASTICO P/MEDIDOR ½	11851	36.99%	36.99%	A
2	CAJETIN DE POLIPROPILENO PARA MEDIDOR CON MARCO Y TAPA DE HD	10578	51.33%	88.32%	B
3	CAJA PARA MEDIDOR DE 3/4"	132	1.76%	90.08%	B
4	CAJA PARA MEDIDOR DE 1" Y 1 ½"	65	4.30%	94.38%	B
5	TAPA METALICA DE 70CM X 70CM PARA CAJA DE HIDRANTE	22	1.46%	95.84%	C
6	CERCO Y TAPA METALICO LARGO 2100 MM. ANCHO 700 MM.	13	1.48%	97.32%	C
7	CERCO Y TAPA METALICO LARGO 2500MM ANCHO 800MM	10	1.13%	98.45%	C
8	CERCO Y TAPA METALICO LARGO 1400 MM. ANCHO 700 MM.	9	1.54%	99.99%	C
9	CAJETIN METALICO PARA VALVULA DE AA.PP	1	0.01%	100.00%	C
		<b>22681</b>			

*Fuente: Empresa, 2023*

**Tabla 3.8 Pareto categorización medidores**

MEDIDOR					
CÓDIGO LATIS	DESCRIPCIÓN	CONSUMO (UNIDADES)	PORCENTAJE	PORCENTAJE ACUMULADO	
10	MEDIDOR DN 15 DIAM ½" DIST 115 MM RANGO100 Q3 25 M3/H-CH UNI	28020	30,56%	30,56%	A
11	MEDIDOR DN 15 DIAM ½" DIST 115 MM RANGO315 Q3 25 M3/H-VOLUM	16930	31,46%	62,02%	A
12	MEDIDOR DN15 DIAM 1/2 DIST 115 R200 Q3- 2,5 M3/H -CH UNICO	8810	18,44%	80,46%	B
13	MEDIDOR DN15 DIAM 1/2 DIST 115 R200 ROSCA DIFERENCIADA	2470	5,14%	85,60%	B
14	MEDIDOR DN 20 DIAM 3/4" DIST - 190 MM RANGO 160 Q3 4 M3/H	175	0,64%	86,24%	B
15	MEDIDOR ULTRASONICO DN15 SIN TELEFONIA	100	0,66%	86,90%	B
16	MEDIDOR ULTRASONICO 2" METALICO BRIDADO - OCTAVE	53	3,63%	90,53%	B
17	MEDIDOR DE 1" /260/C/CHORRO MULTIPLE	35	0,32%	90,86%	B
18	MEDIDOR DN 100 DIAM 4" DIST 350 MM RANGO 315 Q3 100 M3/H	30	1,70%	92,56%	B
19	MEDIDOR DN 80 DIAM 3" DIST 350 MM RANGO 315 Q3 63 M3/H	24	1,32%	93,88%	B
20	MEDIDOR DE 1½" /300/C/ CHORRO UNICO	21	0,18%	94,06%	B
21	MEDIDOR DN 80 DIAM 3" DIST 200 MM RANGO 63 Q3 100 M3/H	20	0,58%	94,65%	B
22	MEDIDOR DN 50 DIAM 2" DIST 200 MM RANGO 63 Q3 40 M3/H	19	0,36%	95,01%	C
23	MEDIDOR DE 3" /350/C/CHORRO UNICO	13	0,80%	95,81%	C
24	MEDIDOR DN 50 DIAM 2" DIST 300 MM RANGO 315 Q3 25 M3/H	12	0,32%	96,13%	C
25	MEDIDOR DN15 DIAM 1/2 DIST 115 R160 Q3- 2,5 M3/H -CH UNICO	12	0,02%	96,15%	C
26	SENSOR TRANSMISOR DE MEDIDOR DE AGUA	10	0,08%	96,23%	C
27	MEDIDOR DN 100 DIAM 4" DIST 250 MM RANGO 100 Q3 160 M3/H	9	0,34%	96,57%	C
28	MEDIDOR ULTRASONICO 4" METALICO BRIDADO - OCTAVE	5	0,54%	97,10%	C
29	MEDIDOR ULTRASONICO DE 1 1/2" HYDRUS II 16 R800 40/300.	5	0,16%	97,27%	C
30	MEDIDOR ULTRASONICO DE 1" HYDRUS II 10 R800 25/260.	5	0,11%	97,37%	C
31	RADIO UNIVERSAL 3G DS ENCODER DUAL PORT	5	0,09%	97,46%	C
32	MEDIDOR ULTRASONICO 3" METALICO BRIDADO - OCTAVE	3	0,28%	97,74%	C
33	MEDIDOR ULTRASONICO 6" METALICO BRIDADO - OCTAVE	2	0,31%	98,05%	C
34	MEDIDOR ½"/115/C/VOLUMETRICO	2	0,01%	98,05%	C
35	MEDIDOR ULTRASONICO 1½" COMPOSITE ROSCADO - OCTAVE	2	0,14%	98,19%	C
36	MEDIDOR DE 4" /350/C/CHORRO UNICO	2	0,14%	98,34%	C
37	MEDIDOR ELECTROMAGNETICO 2"	2	0,36%	98,70%	C
38	MEDIDOR ELECTROMAGNETICO 4"	2	0,29%	99,00%	C
39	MEDIDOR DN 25 DIAM 1" DIST 260 MM RANGO 160 Q3 6,3 M3/H	1	0,02%	99,01%	C
40	MEDIDOR ELECTROMAGNETICO 1½"	1	0,36%	99,38%	C
41	MEDIDOR ELECTROMAGNETICO 6"	1	0,16%	99,53%	C
42	SHARPFLOW DN4" PN10 R400-ITRON-SHARPFLOW	1	0,29%	99,82%	C
43	MEDIDOR ULTRASONICO 8" METALICO - BRIDADO OCTAVE	1	0,18%	100,00%	C
44	MEDIDOR ½"/115/C/VOLUMETRICO COMPOSITE	0	0,00%	100,00%	C
45	MEDIDOR ½" Q3=1,6 M3/H - R125 CHORR/UNICO ROSCA DIFERENCIADA	0	0,00%	100,00%	C
46	MEDIDOR DE 1½ /300/C/ CHORRO MULTIPLE	0	0,00%	100,00%	C
47	MEDIDOR DE 6" /300/B/WOLTMANN	0	0,00%	100,00%	C
48	MEDIDOR DN40 DIAM 1½" DIST 300 MM RANGO 160 Q3 16 M3/H	0	0,00%	100,00%	C
49	MEDIDOR INALAMBICO DE 15MM CON VALVULA	0	0,00%	100,00%	C
50	MEDIDOR MODELO WESAN TIPO WOLTMAN BRIDADO DE 8" DN200	0	0,00%	100,00%	C
51	SHARPFLOW	0	0,00%	100,00%	C
		<b>56803</b>			

Fuente: Empresa, 2023

**Tabla 3.9 Pareto categorización válvulas**

**VÁLVULAS**

CÓDIGO LATIS	DESCRIPCIÓN	CONSUMO (UNIDADES)	PORCENTAJE	PORCENTAJE ACUMULADO	
52	LLAVE DE BOLA RECTA CORTE INVIOLEABLE 20MM X 3/4"	31726	40,0%	40,0%	A
53	VALVULA D BOLA CON MARIPOSA 3/4" TUERCA LOCA X 1/2" H	31117	26,3%	66,3%	A
54	VALVULA DE BOLA MANIJA-CORTE 1/2" H X 3/4" TUERCA LOCA	18798	15,7%	82,0%	B
55	COLLAR ANTI-ROBO 3/4" TL PARA MEDIDOR DE 1/2"	17510	11,1%	93,1%	B
56	MANIJA X CORTE C/TORNILLO	2799	1,0%	94,0%	B
57	TC919 VALVULA PE 20 X 7/8 (910)	1406	1,8%	95,8%	C
58	TC929 VALV. 1/2 H X 7/8 CON ANTIFRAUDE (910)	940	1,0%	96,8%	C
59	VALVULA DE BOLA MANIJA-CORTE 3/4" H X 1" TUERCA LOCA	280	0,4%	97,2%	C
60	VALVULA DE BOLA MANIJA-CONTROL 3/4" H X 1" TUERCA LOCA	186	0,3%	97,5%	C
61	VALVULA DE BOLA MANIJA-CORTE 1" H X 1 1/4" TUERCA LOCA	81	0,2%	97,7%	C
62	VALVULA DE BOLA MANIJA-CONTROL 1" H X 1 1/4" TUERCA LOCA	77	0,2%	97,9%	C
63	VALVULA DE BOLA MANIJA-CORTE 1 1/2" H X 2" TL	57	0,6%	98,4%	C
64	VALVULA DE BOLA MANIJA-CONTROL 1 1/2" H X 2" TL	56	0,5%	99,0%	C
65	VALVULA DE AIRE DE 1/2" MARCA ARI METAIR M-040 TRIPLE FUNCION	13	0,1%	99,0%	C
66	VALVULA COMPUERTA SELLO ELAST B-B PN10 DN80MM PERNO Y EMPAQ	9	0,2%	99,3%	C
67	VALVULA DE BOLA MANIJA-CORTE PE 32MM X 1 1/4" TL	8	0,0%	99,3%	C
68	VALVULA COMPUERTA SELLO ELASTB-B PN10 DN50MM PERNO Y EMPAQ	7	0,1%	99,4%	C
69	EMPAQ	6	0,2%	99,7%	C
70	VALVULA DE COMPUERTA EURO TIPO 21 DN 50 MM PN 16	6	0,2%	99,9%	C
71	COLLAR ANTI-ROBO 2" TL PARA MEDIDOR DE 1 1/2"	3	0,0%	99,9%	C
72	VALVULA DE BOLA MANIJA-CONTROL 1 1/2" H-H	3	0,0%	99,9%	C
73	VALVULA DE COMPUERTA EURO TIPO 21 DN 150 MM PN 16	1	0,1%	100,0%	C
74	COLLAR ANTI-RROBO 1" TL PARA MEDIDOR DE 3/4"	0	0,0%	100,0%	C
75	10025	0	0,0%	100,0%	C
76	COLLAR LP DN80MM TOLERANCIA 88-109MM SAL/25MM 9389-8025	0	0,0%	100,0%	C
77	COLLAR LP DN80MM TOLERANCIA 88-109MM SAL/32MM 9389-8032	0	0,0%	100,0%	C
		<b>105089</b>			

Fuente: Empresa, 2023

Tabla 3.10 Pareto categorización varios

VARIOS

CÓDIGO LATIS	DESCRIPCIÓN	CONSUMO (UNIDADES)	PORCENTAJE	PORCENTAJE ACUMULADO	
78	D=155MM/245MM/E=35MM	333700	9,1%	9,1%	A
79	FICHA P/CORTE DE GUIA-MEDIDOR DN22MM	115000	2,4%	11,5%	A
80	DISPOSITIVO D ACERO INOXIDABLE 11.5 - PEAD	14025	12,9%	24,3%	A
81	PERNO PENTAGONAL DE SEGURIDAD P/CAJA DE MEDIDORES	13017	13,0%	37,3%	A
82	SELLOS PLASTICOS DE SEGURIDAD (FUNDAS) NUMERADOS	10280	6,3%	43,6%	A
83	DISPOSITIVO D ACERO INOXIDABLE 10.5 - PVC	8335	7,6%	51,2%	A
84	SELLO DE SEGURIDAD TIPO CABLE TWISTER SP CON CODIGO DE BARRA	4500	2,6%	53,8%	A
85	TACOS DE MADERA DE 1/2 PULG	3370	1,5%	55,3%	A
86	BOLSA PLASTICA DE SEGURIDAD MUESTRAS DE TRAMPAS DE GRASA	3200	2,1%	57,4%	A
87	VINCHAS PARA MEDIDORES DE 1/2"	3200	1,1%	58,5%	A
88	TEFLON ( ROLLO )	2427	0,3%	58,8%	A
89	UNION RR 1/2" POLIPROPILENO	1615	0,7%	59,5%	A
90	NEPLO PERDIDO PVC DE 1/2" X 4 CM	1555	0,5%	60,0%	A
91	NEPLO 6 CM DE LARGO X 1/2" (POLIPROPILENO)	1545	0,5%	60,5%	A
92	CODO H-H 90° DE 1/2" PPROPILEN	1420	0,5%	61,0%	A
93	CINTA ADHESIVA IMPRESA PARA CORTE DE AAPP	1029	3,1%	64,1%	A
94	ADAPTADOR H-H 1/2 X PE 20MM	975	1,2%	65,3%	A
95	CEMENTO (SACO)	436	2,2%	67,5%	A
96	UNION REDUCTORA HH 3/4" X 1/2" POLIPROPILENO	415	0,4%	67,9%	A
97	TUBERIA PEAD PE 100 PN 10 BARS SDR 9 DN20MM (ROLLO X 100 MT)	400	0,1%	68,1%	A
98	ADAPTADOR H-M 1/2 X PE 20MM	365	0,4%	68,5%	A
99	TACOS DE MADERA DE 3/4 PULG	320	0,2%	68,7%	A
100	ACEITE PENETRANTE MULTI USOS (WD-40 SPRAY DE 11 OZ)	99	0,4%	69,1%	A
101	EMPAQUETADURA DN 80MM 3 PULG	92	0,4%	69,5%	A
102	EMPAQUETADURA DE 2"	83	0,3%	69,9%	A
103	FRASCO DE VIDRIO DE 250 ML	70	0,4%	70,2%	A
104	PERNO 5/8 X 3 A-INOX G-8 CON TUERCA ANILLO PLANO Y PRESION	50	0,1%	70,3%	A
105	ADAPTADOR CABLE DOBLE PULSO CON CABLE DE 1.5 METROS	45	6,9%	77,2%	A
106	EMPAQUETADURA DE 4"	45	0,2%	77,4%	A
107	VALIJA EN LONA REFORZADA DE 33CM ALTO X 23CM ANCHO	44	0,3%	77,8%	A
108	EMPAQUE DE 2" P/MEDIDOR DE 1 1/2"	36	0,0%	77,8%	A
109	BUSHING DE PVC DE 3/4" X 1/2"	35	0,0%	77,8%	A
110	EMPAQUE DE 1 1/2" P/MEDIDOR DE 1"	35	0,0%	77,8%	A
111	PERNO 1/2 X 2" A-INOX TUERCA ANILLO PLANO Y PRESION	30	0,0%	77,8%	A
112	MAXIQUICK TIPO C DN 80 MM PN 10-16	28	1,6%	79,4%	A
113	TUERCA Y ANILLO DE PRESION	28	0,0%	79,5%	A
114	CODO 3/4" HH 90° POLIPROPILENO	25	0,0%	79,5%	A
115	CINTA SEÑALIZACION RED OLITAS INTERAGUA	23	0,2%	79,7%	A
116	MAXIQUICK TIPO A DN 50 MM PN 10-16	21	0,6%	80,3%	B
117	ADAPTADOR OCTAVE ENCODER OUTPUT V4.01	20	3,1%	83,4%	B
118	NEPLO 6 CM DE LARGO X 3/4" (POLIPROPILENO)	20	0,0%	83,4%	B
119	UNION RR 1" (POLIPROPILENO)	20	0,0%	83,4%	B
120	TUBERIA PVC ROSCABLE 1/2" L=6M	18	0,0%	83,4%	B
121	ALAMBRE DE 0.8 MM RECUBRIMIENTO TRANSPARENTE	15	0,5%	83,9%	B
122	EMPAQUETADURA DE 6"	14	0,1%	84,0%	B
123	MAXIQUICK TIPO D DN 100 MM PN 10-16	14	0,5%	84,6%	B
124	FILTRO BRIDADO DN 50 (2")	10	2,8%	87,3%	B
125	LLAVE FLEXIBLE P/ DISPOSITIVO 1.2 MT INTRODUCCION	9	0,3%	87,7%	B
126	HIDRANTE Nº4 DN100 SALIDA 1X4" 2X2" 1/2 TIPO ROSCA 8 HILOS/PUL	7	3,9%	91,6%	B
127	FILTRO BRIDADO DN 80 (3")	6	1,3%	92,9%	B
128	REGULADOR-FLUJO STA 80 DE 3"	6	0,5%	93,5%	B
129	HIDRANTE Nº3 DN80 PN16 SALIDA 2 X 2 1/2" TIPO ROSCA 8 HILOS	5	2,0%	95,5%	C
130	REGULADOR DE FLUJO STA DE 2"	4	0,8%	96,3%	C
131	FILTRO BRIDADO DN 100 (4")	3	1,6%	97,8%	C
132	ADAPTADORES DE BRIDA 2"	2	0,1%	97,9%	C
133	ADAPTADORES DE BRIDA UNIVERSAL TOLERANCIA 158-182 PN 10 - 6"	2	0,1%	98,0%	C
134	LLAVE FLEXIBLE P/ DISPOSITIVO 1.2 MT EXTRACCION	2	0,1%	98,1%	C
135	MAXIQUICK TIPO F DN 150 MM PN 10-16	2	0,1%	98,3%	C
136	UNIONES MAXIFIT DE 2	2	0,1%	98,3%	C
137	UNIONES MAXIFIT DE 3	2	0,1%	98,4%	C
138	FILTRO BRIDADO DN 150 -6PULG	1	0,5%	98,9%	C
139	KIT DE REPARACION PARA MEDIDOR WOLTEX DE 6"	1	0,7%	99,7%	C
140	REGULADOR DE FLUJO STA 100 DE 4"	1	0,3%	99,9%	C
141	UNIONES MAXIFIT DE 4	1	0,1%	100,0%	C
142	ARENA DE PRIMERA	0	0,0%	100,0%	C
143	BATERIAS D RECAMBIO DE MEDIDOR INTELIGENTE	0	0,0%	100,0%	C
144	BUSHING DE 1" A 1/2"	0	0,0%	100,0%	C
145	BUSHING DE POLIPROPILENO 1"X3/4"	0	0,0%	100,0%	C
146	BUSHING POLIPROPILENO DE 1" A 1 1/2"	0	0,0%	100,0%	C
147	CODO 1" HH 90° POLIPROPILENO	0	0,0%	100,0%	C
148	CODO 3/4" HH 45° POLIPROPILENO	0	0,0%	100,0%	C
149	KIT TRANSMISOR DE DATOS	0	0,0%	100,0%	C
150	MEDIO NUDO DE 1 1/2" H X 2" TL C/EMPAQUE	0	0,0%	100,0%	C
151	NEPLO 6 CM DE LARGO X 1" (POLIPROPILENO)	0	0,0%	100,0%	C
152	NEPLO DE 3/4" R/R C/TUERCA (POLIPROPILENO)	0	0,0%	100,0%	C
153	PERNO 1" X 4" HG , TUERCA ANILLO PLANO Y PRESION	0	0,0%	100,0%	C
154	PIEDRA DE 3/4	0	0,0%	100,0%	C
155	SELLO DE SEGURIDAD TIPO CABLE	0	0,0%	100,0%	C
156	TEE ROSCA HEMBRA POLIPROPILENO 1/2" X 1/2" X 2 1/2"	0	0,0%	100,0%	C
157	TUBERIA PVC ROSCABLE 1 PULG	0	0,0%	100,0%	C
158	TUBERIA PVC ROSCABLE 3/4" L=6MTS (AAPP)	0	0,0%	100,0%	C
159	TUBERIA PVC U/Z PRESION 0,80MP	0	0,0%	100,0%	C
160	TUBO DE PVC 2 X 6 MT ROSCABLE	0	0,0%	100,0%	C
161	TUBO DE PVC ROSCABLE DE 2 " X 6 MTS	0	0,0%	100,0%	C
162	TUBO PVC ROSCABLE 1 1/2 PULG	0	0,0%	100,0%	C
163	UNION RR 3/4 DE POLIPROPILENO	0	0,0%	100,0%	C
		522105			

Fuente: Empresa, 2023

El análisis de Pareto es una herramienta que permite clasificar los SKU's en tres categorías A, B y C, para el presente proyecto se ha tomado como referencia el precio unitario. Los ítems con categoría A son en total 43, estos ítems son los que tienen mayor rotación, en la categoría B existe un total de 29 ítems estos artículos tienen un valor intermedio y en la clasificación C hay 91 ítems representan un mayor volumen.

A través de este análisis realizado en la tabla 3.11 se puede visualizar de manera global cada uno de los ítems para poder enfocar el presente proyecto en los ítems de mayor rotación que en este caso serían los de Categoría A y B, sin desmerecer la importancia de los ítems de categoría C a los cuales se les dará un tratamiento especial en el análisis.

**Tabla 3.111 Análisis de Pareto**

<b>Categorías</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Cajas</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>
<b>Medidores</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	<b>30</b>
<b>Valvulas</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>21</b>
<b>Varios</b>	<b>38</b>	<b>13</b>	<b>35</b>
<b>Total</b>	<b>43</b>	<b>29</b>	<b>91</b>

*Fuente: Elaboración propia, 2023*

# CAPÍTULO 4

## 4. FORMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

En el presente capítulo se desarrolla el modelo matemático de programación lineal entera mixta en GAMS con proyecciones en el software Wólffram Mathematica que buscar minimizar los costos de los accesorios en la adquisición de los mismos durante un periodo de tiempo.

### 4.1 Estructura del modelo matemático

A continuación, la estructura del modelo matemático:

#### Índices

*i* Periodo de Tiempo

*j* Materiales

*k* Empresa, Contratista

*u* Descuentos

#### Escalar

*PM* Presupuesto de Materiales

*PE* Presupuesto de Estibas

*VC* Visita de Clientes

*CapAlm* Capacidad de Almacen Maximo

#### Parámetros

*MaxA(u)* Maximo de Compra en el escenario *u*

*Min(u)* Minimo de Compra en el escenario *u*

*CC(k)* Costo Cuadrilla

*CM(j)* Costo Materiales

*D(i, j)* Demanda durante el Periodo *i* del Material *j*

## Variables

*Z Costo Total de la Adquisición*

*W Cantidad Pedida al Proveedor*

*X Cantidad Stock*

*Y Cantidad Cuadrilla*

*A Almacenamiento*

*H Ingreso de Stock Proveedor*

*V Ingreso de Stock Empresa*

## Función Objetivo

La función objetivo busca minimizar los costos de materiales (**CM**) y los costos de cuadrilla (**CC**) y aprovechar los descuentos en el rango de compras.

$$\text{Min } z = \sum_{i=1, j=1, k=1}^{I, J, K} CM * X(i, j, k) + \sum_{i=1, j=1, k=1}^{I, J, K} CC * Y(i, j, k) - \sum_{i=1, j=1, k=1}^{I, J, K} \text{Descuento}(u) * B(i, j, k)$$

## Restricciones

El costo de cuadrilla no puede superar el valor del presupuesto, mismo que depende de la empresa.

$$\sum_{i=1, j=1}^{I, J} CC * Y(i, j, k) \leq \text{Presupuesto} \quad \forall k = 1$$

La elección de cantidad de veces que se va a utilizar en la cuadrilla debe ser igual a la visita de los clientes que tendré en mi operación.

$$\sum_{j=1, k=1}^{J, k} Y(i, j, k) = VC \quad \forall i$$

El costo total de importación no puede superar al presupuesto de materiales.

$$\sum_{i=1, j=1, k=1}^{I, J, K} CM(j) * W(i, j, k) \leq PM$$

El costo total de ingreso de la empresa no puede superar al presupuesto de materiales.

$$\sum_{i=1, j=1}^{I, J} CM(j) * X(i, j, k) \leq PM \quad \forall k = 1$$

El costo total de ingreso externo no puede superar al presupuesto de materiales.

$$\sum_{i=1, j=1}^{I, J} CM(j) * X(i, j, k) \leq PM \quad \forall k = 2$$

Restricción lógica, lo que ingresa a la bodega debe ser positivo

$$X(i, j, k) \geq 0 \quad \forall i \forall j \forall k$$

Restricción lógica, la cantidad de cuadrilla a utilizar debe ser positivo.

$$Y(i, j, k) \geq 0 \quad \forall i \forall j \forall k$$

Lo que importa/compra la empresa llega en un mes al almacenamiento.

$$W(i, j, k) = X(i + 1, j, k) \quad \forall k = 1 \forall i > 1$$

El proveedor externo no importa.

$$W(i, j, k) = 0 \quad \forall k = 2$$

Lo que importa/compro debe ser menor o igual a la demanda.

$$W(i, j, k) \leq D(i, j) \quad \forall k = 1$$

La importación/compra debe ser mayor que el rango mínimo de selección de compra/importación en el escenario U.

$$W(i, j, k) \geq \sum_{u=1}^U \text{Min}A(u) * B(i, j, u) \quad \forall i \forall j$$

La importación/compra debe ser menor que el rango máximo de selección de compra/importación en el escenario U.

$$W(i, j, k) \leq \sum_{u=1}^U \text{Max}A(u) * B(i, j, u) \quad \forall i \forall j$$

La selección de compra en el ítem  $j$  en el escenario U es mayor a uno para cada mes  $i$ .

$$\sum_{j=1, u=1}^{J, U} B(i, j, u) \geq 1 \quad \forall i$$

La selección de compra en el mes  $i$  en el escenario U es mayor a uno para cada ítem  $j$ .

$$\sum_{i=1, u=1}^{I, U} B(i, j, u) \geq 1 \quad \forall j$$

La selección de compra en el mes  $i$  del ítem  $j$  es mayor a uno para cada escenario U.

$$\sum_{i=1, j=1}^{I, J} B(i, j, u) \geq 1 \quad \forall u$$

Para cada mes  $i$  para ítem  $j$  se debe seleccionar un escenario U.

$$\sum_{u=1}^U B(i, j, u) = 1 \quad \forall i \forall j$$

La sumatoria de decisiones en el periodo  $i$  del ítem  $j$  en el escenario U debe ser menor o igual a los números de ítems por la frecuencia.

$$\sum_{i=1; j=1; u=1}^{I, J, U} B(i, j, k) \leq ord(items) * frecuencia$$

El almacenamiento no puede superar la capacidad máxima de almacenamiento.

$$\sum_{j=1}^J A(i, j) \leq CapAlm \quad \forall i$$

El almacenamiento inicial es igual a la demanda en el primer periodo.

$$A(0, j) = D(i, j) \quad \forall i = 1 \forall j$$

El ingreso de material por parte de la empresa.

$$V(i, j) = X(i, j, k) \quad \forall k = 1$$

El ingreso de material por parte del proveedor.

$$H(i, j) = X(i, j, k) \quad \forall k = 2$$

El flujo de almacenamiento es equivalente al almacenamiento en el mes anterior más el ingreso menos la demanda.

$$A(i, j) = A(i - 1, j) + V(i, j) + H(i, j) - D(i, j) \quad \forall i \forall j$$

El almacenamiento debe ser mayor o igual a cero.

$$A(i, j) \geq 0 \quad \forall i \forall j$$

Los ingresos de stock tanto de la empresa más del proveedor externo deben ser menores o iguales a la demanda.

$$\sum_{i=1}^I X(i, j, k) \leq \sum_{i=1}^I D(i, j) \quad \forall j \quad \forall k = 1$$

Las variables son naturales positivas incluyendo el cero.

$$X(i, j, k), Y(i, j, k), U(i, j), H(i, j), A(i, j) \in \mathbb{N}$$

## 4.2 Comparación de escenarios

En la tabla 3.12 se muestra 5 escenarios diferentes en los que se detalla el valor de los descuentos en función de la cantidad de compra que se ha clasificado en tres rangos A, B y C. Estos rangos de descuento dependen de las negociaciones del área comercial. A través de las simulaciones se obtiene un ahorro que oscila entre el 1 al 14%.

El modelo fue desarrollado en el sistema GAMS (programa de optimización matemático), mismo que se detalla en el anexo del presente proyecto.

**Tabla 4.12 Escenarios para análisis de resultados**

	Escenarios				
	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto
Rango de Compra A (0-500)	\$50	\$100	\$0	\$0	\$1.000
Rango de Compra B(500-2500)	\$100	\$250	\$500	\$1.000	\$2.000
Rango de Compra C(2500-3000)	\$250	\$500	\$1.000	\$2.000	\$3.000
PRESUPUESTO	\$2.631.360	\$2.631.360	\$2.631.360	\$2.631.360	\$2.631.360
OPTIMIZACION GAMS	\$2.607.510	\$2.579.610	\$2.563.860	\$2.496.360	\$2.252.835
AHORRO	\$23.850	\$51.750	\$67.500	\$135.000	\$378.525
% AHORRO	1%	2%	3%	5%	14%

*Fuente: Elaboración propia, 2023*

Las simulaciones se realizan tomando en consideración el parámetro de descuento que se visualiza en los diferentes escenarios y que da como resultados un ahorro del 1 al 14%.

### 4.3 Resultados – Comparaciones

En función de los resultados obtenidos en GAMS, se seleccionaron como muestra los ítems del 8, 9, 40, 41, 50 y 51 debido a su demanda dinámica.

- En el rango de compra A existe un mayor descuento en el segundo escenario.
- En el rango de compra B existe un mayor descuento en el quinto escenario.
- En el rango de compra C existe un mayor descuento en el quinto escenario.

Realizando el análisis entre el presupuesto \$2,631,360.00 y el resultado del modelo de optimización \$2,496,360.00 el mejor escenario es el quinto, obteniendo un valor de ahorro de \$135000 que equivale al 5%.

A continuación, se detalla los resultados de las variables utilizadas en la modelización.

#### **Decisión de Compra [ $B(i,j,u)$ ]**

El cuadro muestra cuando la empresa debe comprar en el periodo  $i$  del ítem  $j$  en los escenarios U.

En la tabla 3.13 se muestra los meses, los ítems; así como el rango de compra.

El 1 indica en que rango de descuento debe comprarse el ítem.

**Tabla 4.23 Decisión de compra**

Mes	Ítems	Rango de descuento		
		A (0-500)	B (500-2500)	C (2500-3000)
1	8		1	
2	8		1	
3	8		1	
4	8		1	
5	8		1	
6	8		1	
7	8		1	
8	8		1	
9	8		1	
10	8		1	
11	8		1	
12	8		1	
1	9		1	
2	9		1	
3	9		1	
4	9		1	
5	9		1	
6	9		1	
7	9		1	
8	9		1	
9	9		1	
10	9		1	
11	9		1	
12	9		1	
1	40	1		
2	40	1		
3	40	1		
4	40	1		
5	40	1		
6	40	1		
7	40	1		
8	40	1		
9	40	1		
10	40	1		
11	40	1		
12	40	1		
1	41	1		
2	41	1		
3	41	1		
4	41	1		
5	41	1		
6	41	1		
7	41	1		
8	41	1		
9	41	1		
10	41	1		
11	41	1		
12	41	1		
1	50	1		
2	50		1	
3	50		1	
4	50		1	
5	50	1		
6	50	1		
7	50	1		
8	50	1		
9	50	1		
10	50	1		
11	50	1		
12	50	1		
1	51		1	
2	51		1	
3	51		1	
4	51		1	
5	51		1	
6	51		1	
7	51		1	
8	51		1	
9	51		1	
10	51		1	
11	51		1	
12	51		1	

Fuente: Elaboración propia, 2023

### Importación/Compra [ $w(i,j,k)$ ]

En la tabla 3.14 se muestra la cantidad que debe importar o comprar la empresa en el periodo  $i$  del ítem  $j$  del proveedor  $k$ .

Adicional se muestra los meses, los ítems y en la otra última columna la cantidad que se va a comprar o importar.

**Tabla 4.34 Cantidad a importar/comprar**

Mes	Ítems	Cantidad
1	8	1001
1	9	1001
1	40	100
1	41	100
1	50	458
1	51	1001
2	8	1001
2	9	1001
2	40	100
2	41	100
2	50	4785
2	51	1001
3	8	1001
3	9	1001
3	40	100
3	41	100
3	50	4785
3	51	1001
4	8	1001
4	9	1001
4	40	100
4	41	100
4	50	1001
4	51	1001
5	8	1001
5	9	1001
5	40	100
5	41	100
5	50	286
5	51	1001
6	8	1001
6	9	1001
6	40	100
6	41	100
6	50	100
6	51	1001
7	8	1001
7	9	1001
7	40	100
7	41	100
7	50	460
7	51	1001
8	8	1001
8	9	1001
8	40	100
8	41	100
8	50	460
8	51	1001
9	8	1001
9	9	1001
9	40	100
9	41	100
9	50	460
9	51	1001
10	8	1001
10	9	1001
10	40	100
10	41	100
10	50	460
10	51	1001
11	8	1001
11	9	1001
11	40	100
11	41	100
11	50	100
11	51	1001
12	8	1001
12	9	1001
12	40	100
12	41	100
12	50	100
12	51	1001

Fuente: Elaboración propia, 2023

### Ingresos de Stocks [ $x(i,j,k)$ ]

En la tabla 3.15 se muestra la cantidad que ingresa al almacén en el periodo  $i$  del ítem  $j$  del proveedor  $k$ .

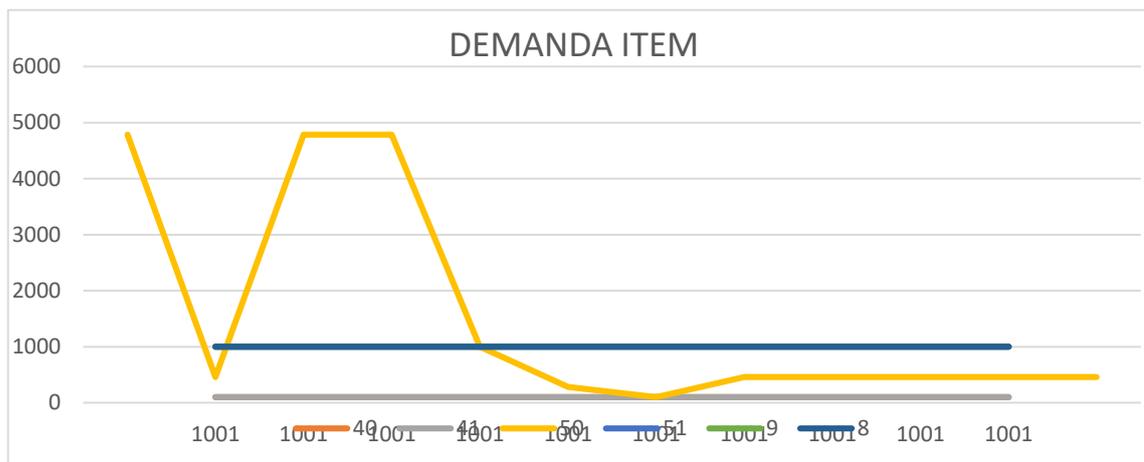
Adicional se muestra los meses, los ítems, así como la cantidad que se va a comprar al proveedor 1 que es la empresa y 2 a través de los contratistas.

**Tabla 4.45 Ingresos de Stock**

Mes	Proveedor		Contratistas
	Items	Empresa	
1	8		2200
2	8	1001	2398
3	8	1001	
4	8	1001	2398
5	8	1001	
6	8	1001	7194
7	8	1001	
8	8	1001	
9	8	1001	
10	8	1001	
11	8	1001	
12	8		2200
1	9		2200
2	9	1001	3597
3	9	1001	
4	9	1001	
5	9	1001	7194
6	9	1001	
7	9	1001	
8	9	1001	
9	9	1001	
10	9	1001	
11	9	1001	1199
12	9		2200
1	40		110
2	40	100	210
3	40	100	
4	40	100	
5	40	100	
6	40	100	
7	40	100	
8	40	100	
9	40	100	
10	40	100	
11	40	100	
1	41		100
2	41	100	
3	41	100	100
4	41	100	
5	41	100	
6	41	100	
7	41	100	
8	41	100	
9	41	100	
10	41	100	
11	41	100	
1	50	4785	
2	50	458	
3	50	4785	
4	50	4785	
5	50	1001	
6	50	286	
7	50	100	
8	50	460	
9	50	460	
10	50	460	
11	50	460	
12	50	460	
1	51		1591
2	51	1001	1180
3	51	1001	
4	51	1001	6319
5	51	1001	
6	51	1001	
7	51	1001	
8	51	1001	
9	51	1001	
10	51	1001	
11	51	1001	

Fuente: Elaboración propia, 2023

La demanda de los Ítems 40 y 41 a nivel de proveedor empresa se mantiene con una demanda promedio de 100 unidades a partir del segundo periodo. La demanda de los Ítems 8 y 51 a nivel de proveedor empresa se mantiene con una demanda promedio de 1001 unidades. La demanda con mayor variabilidad es el Ítem 50 misma que tiene una demanda promedio 18500 unidades.





#### **4.4 Ítems con categorización C**

Para estos ítems se realizó el siguiente análisis:

1. Clasificar los ítems que no han tenido rotación, verificar si efectivamente no se van a realizar más consumos y darlos de baja en el sistema.
2. A los materiales grandes se los debe clasificarlos de acuerdo a su diámetro y realizar proyección de consumo de estos materiales en dos grandes grupos 1) medidores y 2) Accesorios.
3. Segmentar los ítems que son de consumo exclusivo de las cuadrillas de zona 2b los mismos que no deben tener quiebre de stock.
4. Verificar los ítems que no han tenido rotación durante el año 2022 a fin de buscar plan de acción para estos materiales.
5. Definición clara de la estrategia de los nuevos proyectos al realizar la proyección no solo de medidores sino también de los accesorios

# CAPÍTULO 5

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

Una vez concluido el presente proyecto se concluye lo siguiente:

1. A fin de que la planificación y la compra de materiales no se realice de manera empírica, se diseñó un modelo matemático para garantizar la disponibilidad de todos los accesorios para la correcta operación de las actividades.
2. Se pudo valorar que hay ítems que no tienen rotación a través del análisis de Pareto, evitando la obsolescencia por el sistema instalado.
3. Se realizó un registro de los consumos mensuales de cada uno de los SKUs para llevar a cabo una proyección y se pueda usar esta información en el modelo matemático.
4. Se realizó un modelo matemático en el programa GAMS a fin de obtener las cantidades óptimas a pedir, así como los distintos escenarios que incluyen descuentos en las compras al proveedor.
5. Finalmente, se realizó un análisis comparativo de los 5 distintos escenarios con los cuales se obtuvo un ahorro.

### 5.2 Recomendaciones

- Se recomienda ampliar el presupuesto de cuadrilla y/o renegociar con el proveedor externo los valores puesto que los mismos encarecen la operación.

- Se recomienda renegociar con el proveedor externo los valores de materiales para la operación.
- Se recomienda negociar los beneficios al momento de hacer comprar significativas/volumen, mismos que beneficiaran a la operación.
- Se recomienda analizar la demanda trimestralmente con la cual se pediría un stock que supla la demanda, con el fin de tener un excelente nivel de servicio.
- Se recomienda ajustar el lead time en función de la realidad/políticas del proveedor externo. Para este modelo matemático se usó el periodo más uno para todos los proveedores.

# BIBLIOGRAFÍA

- Alba, K., & Torres, M. (2019). *Estudio del uso de aplicaciones interactivas en dispositivos móviles para el proceso de enseñanza-aprendizaje de la matemática en los colegios públicos y privados de la provincia de Pichincha*. Quito: PUCE.
- Alfonso, V., Oliveira Pimentel, C., Godina, R., De Oliveira Matias, J., & Palavra Garrido, S. (9 de Marzo de 2022). Improvement of the Logistics Flows in the Receiving Process of.
- Arenal, C. (2020). *Elaboración y gestión de inventarios*. Logroño, La Rioja, España: Tutor Formación. Recuperado el 20 de noviembre de 2022, de [https://books.google.com.ec/books?id=bpXSDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=bpXSDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Baghizadeh, K., Ebadi, N., Zimon, D., & Jum´a, L. (22 de Diciembre de 2022). 2.9.5 Uso de cuatro algoritmos Metaheurísticos para reducir el riesgo de interrupción del proveedor en un modelo de inventario sistemático para suministros de piezas de repuesto.
- Carrera, J. (2017). *Óptima planificación de la expansión de la generación eléctrica usando GAMS*. Quito: EPN.
- Diferencias*. (s.f.). Obtenido de [https://www.diferencias.cc/prediccion-pronostico/#google\\_vignette](https://www.diferencias.cc/prediccion-pronostico/#google_vignette)
- Garcia Salinas, S. M. (2019). DETERMINACIÓN DE UNA POLÍTICA ÓPTIMA DE INVENTARIO PARA LA MEJORA DEL PROCESO DE VENTAS EN EMPRESA INTERNACIONAL DE INSTRUMENTAL CLIMATOLÓGICO. Lima, Perú.
- Garcia Salinas, S. M., & Moreno Lau, M. J. (2019). DETERMINACIÓN DE UNA POLÍTICA ÓPTIMA DE INVENTARIO PARA LA MEJORA DEL PROCESO DE VENTAS EN EMPRESA INTERNACIONAL DE INSTRUMENTAL CLIMATOLÓGICO. Lima, Perú.
- Garcia Salinas, S. M., & Moreno Lau, M. J. (2019). *DETERMINACIÓN DE UNA POLÍTICA ÓPTIMA DE INVENTARIO PARA LA MEJORA DEL PROCESO DE VENTAS EN EMPRESA INTERNACIONAL DE INSTRUMENTAL CLIMATOLÓGICO*. Lima.

- Huitron Soto, S. E. (2020). *MÉTODO ABC PARA LA CLASIFICACIÓN DE INVENTARIOS EN EL ALMACÉN*. México.
- Jalili Manrad, A., & Thorstenson, A. (2017). Control de inventario conjunto y fijación de precios en un sistema de inventario de servicios.
- Julca, G., Malca, A., & Saravia, J. (2016). *Modelo de programación lineal entera para mejorar la productividad del proceso de obtención y procesamiento de la goma de tara de Industria Nativa S.AC*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias aplicadas.
- Koulaxidis, G., & Xinogalos, S. (28 de Marzo de 2022). 2.9.6 Mejora del rendimiento de los juegos móviles con técnicas básicas de optimización en unidad. Grecia.
- Li, J., Liu, L., Hu, H., Zhao, Q., & Guo, L. (7 de Diciembre de 2018). Un modelo de inventario para medicamentos perecibles con tiempo de entrega estocástico. China.
- Malik, M., Kumar Gahlawat, V., Mor, R., Dahiya, V., & Yadav, M. (17 de Octubre de 2022). 2.9.4 Aplicación de técnicas de optimización en la cadena de suministro lácteo: una revisión sistemática. India.
- Martínez, I., Vértiz, G., López, J., Jiménez, G., & Moncayo, L. (2014). *Investigación de Operaciones* (Primera ed.). (J. Callejas, & E. Delfín, Edits.) México, México: Grupo Editorial Patria. Recuperado el 25 de noviembre de 2022, de <https://editorialpatria.com.mx/pdf/files/9786074386967.pdf>
- Otero, R., Bolívar, S., & Rincón, N. (2016). *Comparación a través del picking en tienda de dos alternativas de entrega en un entorno de servicio a domicilio en supermercados. Área temática: logística en ciudad\**. Bogotá: Javeriana.
- Pallavicini, A. (07 de julio de 2013). *1Library*. Obtenido de 1Library: <https://1library.co/document/z1egp0py-modelos-arma-y-metodo-box-jenkins.html>
- Pierantozzi, M., Tomassetti, S., & Di Nicola, G. (17 de Diciembre de 2022). 2.9.7 Modelo de conductividad térmica de refrigerantes de bajo Global warming potential (GWP) con optimización multiobjeto. Italia.
- Pricing revenue management*. (s.f.). Obtenido de <https://www.pricing.cl/conocimiento/series-de-tiempo/>

- Valisev, J., & Milkowa, T. (Agosto de 2022). 2.9.2 Modelos de Optimización para Gestión del Inventario con limitado número de artículos en stock.
- WALPACK. (20 de marzo de 2021). *WALPACK Pallets & Packaging*. Obtenido de WALPACK Pallets & Packaging: <https://www.walpack.cl/productos.php>
- Zapata, J. (2014). *Fundamentos de la gestión de inventarios*. (D. Londoño, Ed.) Medellín, Colombia: Centro Editorial Esumer. Recuperado el 14 de noviembre de 2022, de [http://www.accioneduca.org/admin/archivos/clases/material/manejo-de-inventario\\_1563983589.pdf](http://www.accioneduca.org/admin/archivos/clases/material/manejo-de-inventario_1563983589.pdf)
- Zhu, Q., Krikke, H., & C. J. Caniëls, M. (1 de Abril de 2021). 2.9.8 Los efectos de las diferentes estrategias de integración de la cadena de suministro en recuperación de interrupciones: un estudio de dinámica de sistema sobre la industria quesera.

# ANEXOS

## MODELIZACIÓN EN GAMS

### Índices y scalar

#### Set

```
i Periodo de Tiempo /1*12/  
j Materiales /1*72/  
k Empresa /1*2/  
u Descuentos /1*3/
```

#### Scalar

```
PM Presupuesto Materiales /3000000/  
PE Presupuesto Estibas /500/  
VC Visita de Clientes /100/  
CapAlm Capacidad de Almacen Maximo /100000/
```

### Parámetros

#### Parameter

```
Descuento(u) El Descuento u en el escenario  
  
/  
1 1000  
2 2000  
3 3000  
/;
```

```
$call gdxrw.exe MODMATINPUTS15072023.xlsx par=MaxA rng=maxitems!A2:B4 rdim=1
```

```
Parameter MaxA(u);
```

```
$gdxin MODMATINPUTS15072023.gdx
```

```
$load MaxA
```

```
$gdxin
```

```
$call gdxrw.exe MODMATINPUTS15072023.xlsx par=MinA rng=minitems!A2:B4 rdim=1
```

```
Parameter MinA(u);
```

```
$gdxin MODMATINPUTS15072023.gdx
```

```
$load MinA
```

```
$gdxin
```

```
$call gdxrw.exe MODMATINPUTS15072023.xlsx par=CC rng=cuadrilla!A1:B2 rdim=1
```

```
Parameter CC(k);
```

```
$gdxin MODMATINPUTS15072023.gdx
```

```
$load CC
```

```
$gdxin
```

```
$call gdxrw.exe MODMATINPUTS15072023.xlsx par=CM rng=materialesitems!C2:D73 rdim=1
```

```
Parameter CM(j);
```

```
$gdxin MODMATINPUTS15072023.gdx
```

```
$load CM
```

```

Parameter CM(j);
$gdxin MODMATINPUTS15072023.gdx
$load CM
$gdxin

$call gdxrw.exe MODMATINPUTS15072023.xlsx par=D rng=demandaitemstw!A1:BU13 rdim=1 cdim=1

Parameter D(i,j);
$gdxin MODMATINPUTS15072023.gdx
$load D
$gdxin

Binary Variables
B Decision Descuento

```

## Variables

### Variable

```

Z Costo Total de la Adquisición
W Cantidad Pedida al Proveedor
X Cantidad Stock
Y Cantidad Cuadrilla
A Almacenamiento
H Ingreso de Stock Proveedor
V Ingreso de Stock
R1 Informacion
R2 Informacion
R3 Informacion
R4 Informacion
R5 Informacion
R6 Informacion
R7 Informacion
R8 Informacion
R9 Informacion
R10 Informacion
R11 Informacion

```

## Función objetiva y ecuaciones de restricciones

```

Equations
fobj,eq1,eq2,eq3,eq31,eq32,eq33,eq34,eq4,eq5,eq6,eq7,eq8,eq9,eq10,eq11,eq12,eq13,eq14,eq15,eq16,eq17,eq18,eq19,eq20,eq21,
fobj..
z=e=sum((i,j,k),CM(j)*X(i,j,k))+sum((i,k),CC(K)*Y(i,k))-sum((i,j,u),Descuento(u)*B(i,j,u));
$ontext
fobj..
z=e=sum((i,j,k),CM(j)*X(i,j,"1"))+sum((i,j,k),(1+CM(j))*X(i,j,"2"))-R2+R10;
$offtext
eq1..
sum(i,CC("1")*Y(i,"1"))=1=PE;
eq2(i)..
sum(k,Y(i,k))=e=VC;
eq3..
sum((i,j,k),CM(j)*W(i,j,k))=1=PM;
eq31..
sum((i,j,k),CM(j)*X(i,j,"1"))=1=PM;
eq32..
sum((i,j,k),(1+CM(j))*X(i,j,"2"))=1=PM;
eq33(i,j,k)..
X(i,j,k)=g=0;
eq34(i,k)..
Y(i,k)=g=0;
eq4(i,j)$ord(i)lt11)..
W(i,j,"1")=e=X(i+1,j,"1");
eq5(i,j)..
W(i,j,"2")=e=0;
eq6(i,j)..
W(i,j,"1")=1=D(i,j);
eq7(i,j)..
W(i,j,"1")=g=sum(u,MinA(u)*B(i,j,u));
eq8(i,j)..
W(i,j,"1")=1=sum(u,MaxA(u)*B(i,j,u));
eq9(i)..
sum((u,j),B(i,j,u))=g=1;
eq10(j)..
sum((i,u),B(i,j,u))=g=0;
eq11(u)..
sum((i,j),B(i,j,u))=g=1;
eq12(i,j)..
sum(u,B(i,j,u))=1=1;
eq13..
sum((i,j,u),B(i,j,u))=1=72*4;
eq14(i)..
sum(j,A(i,j))=1=CapAlm;
eq15(j)..
A("0",j)=e=D("1",j);
eq16(i,j)..
V(i,j)=e=X(i,j,"1");
eq17(i,j)..
H(i,j)=e=X(i,j,"2");

```

```

eq18(i,j)..      A(i,j)=e=A(i-1,j)+V(i,j)+H(i,j)-D(i,j);
eq19(i,j)..      A(i,j)=q=0;
eq20(j)..        sum(i,X(i,j,"1"))=l=sum(i,D(i,j));

$ontext
VARIABLES INFORMATIVAS
$offtext
eq21..           sum((i,j,k),CM(j)*W(i,j,k))=e=R1;
eq22..           sum((i,j,u),Descuento(u)*B(i,j,u))=e=R2;
eq23..           sum((i,j),CM(j)*X(i,j,"1"))=e=R3;
eq24..           sum((i,j),CM(j)*X(i,j,"2"))=e=R4;
eq25..           sum((i,j,k),CM(j)*X(i,j,k))=e=R5;
eq26..           sum((i,j,k),CM(j)*W(i,j,k))=e=R6;
eq27..           sum((i,j,k),W(i,j,k))=e=R7;
eq28..           sum((i,j,k),X(i,j,k))=e=R8;
eq29(i)..        sum((j,k),X(i,j,k)-W(i,j,k))=e=R9(i);
eq30..           sum((i,k),CC(k)*Y(i,k))=e=R10;
eq41..           sum((i,j,u),Descuento(u)*B(i,j,u))=e=R11;

```

## Resultado de la función objetiva y variables

```

Model Optimizacion /All/
Solve Optimizacion using MIP min Z
Display R1.1,R2.1,R3.1,R4.1,R5.1,R6.1,R7.1,R8.1,R9.1,R10.1,R11.1

```

## Resultados presentados en un archivo Excel

```

execute_unload "results.gdx" A.L A.M

*=== Now write to variable levels to Excel file from GDX
*=== Since we do not specify a sheet, data is placed in first sheet
execute 'gdxxrw.exe results.gdx o=results.xlsx var=A.L rng=Almacenamiento!'

execute_unload "results.gdx" X.L X.M

*=== Now write to variable levels to Excel file from GDX
*=== Since we do not specify a sheet, data is placed in first sheet
execute 'gdxxrw.exe results.gdx o=results.xlsx var=X.L rng=StockIngreso!'

execute_unload "results.gdx" Y.L Y.M

*=== Now write to variable levels to Excel file from GDX
*=== Since we do not specify a sheet, data is placed in first sheet
execute 'gdxxrw.exe results.gdx o=results.xlsx var=Y.L rng=Estibas!'

```

```
execute_unload "results.gdx" W.L W.M

*=== Now write to variable levels to Excel file from GDX
*=== Since we do not specify a sheet, data is placed in first sheet
execute 'gdxxrw.exe results.gdx o=results.xlsx var=W.L rng=CompraProveedor!'

execute_unload "results.gdx" B.L B.M

*=== Now write to variable levels to Excel file from GDX
*=== Since we do not specify a sheet, data is placed in first sheet
execute 'gdxxrw.exe results.gdx o=results.xlsx var=B.L rng=Decision!'
```