

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE MATEMÁTICA



TESIS

**MODELO DE INVENTARIOS APLICADO AL
CONTROL DE ALMACÉN DEL CENTRO DE
SALUD INTEGRAL LA FUENTE DEL CUSCO, 2024**

PRESENTADO POR:

Br. KEVIN HEBERTH HAQUEHUA APAZA

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE LICENCIADO EN MATEMÁTICA
MENCIÓN ESTADÍSTICA**

ASESOR:

Dr. ALFREDO VALENCIA TOLEDO

CUSCO - PERÚ

2025



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor ALFREDO VALENCIA TOLEDO
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: MODELO DE INVENTARIOS APLICADO..
AL CONTROL DE ALMACÉN DEL CENTRO DE SALUD INTEGRAL
LA FUENTE DEL CUSCO, 2024

Presentado por: KEVIN NEBERTH MAQUEMVA APAZA DNI N° 72658015;
presentado por: DNI N°:
Para optar el título Profesional/Grado Académico de LICENCIADO EN MATEMÁTICA
MENTIÓN ESTADÍSTICA
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 03 veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de**
Similitud en la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 5 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (x)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	☒
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	☐
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	☐

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 18 de SEPTIEMBRE de 20 25



Firma

Post firma..... ALFREDO VALENCIA TOLEDO

Nro. de DNI..... 43162177

ORCID del Asesor..... 0000-0001-6505-9634

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:500181890

KEVIN HEBERTH HAQUEHUA APAZA

MODELO DE INVENTARIOS APLICADO AL CONTROL DE ALMACEN DEL CENTRO DE SALUD INTEGRAL LA FUENTE DEL...



Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:500181890

Fecha de entrega

17 sep 2025, 9:12 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

17 sep 2025, 9:36 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

MODELO DE INVENTARIOS APLICADO AL CONTROL DE ALMACEN DEL CENTRO DE SALUD INTEGR....pdf

Tamaño del archivo

6.0 MB

203 páginas

42.111 palabras

201.676 caracteres

5% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 4%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 2%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

PRESENTACIÓN

SEÑOR: DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SEÑOR: DIRECTOR DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE MATEMÁTICA

SEÑORES: DOCENTES MIEMBROS DEL JURADO

Con la conformidad del reglamento de grados y títulos de la Escuela Profesional de Matemática, pongo a consideración el presente trabajo de tesis intitulado: **“MODELO DE INVENTARIOS APLICADO AL CONTROL DE ALMACÉN DEL CENTRO DE SALUD INTEGRAL LA FUENTE DEL CUSCO, 2024”** para optar al Título Profesional de **LICENCIADO EN MATEMÁTICA MENCIÓN ESTADÍSTICA**.

El trabajo de investigación tiene por objetivo desarrollar una política de inventarios óptima para la gestión de productos e insumos de almacén mediante las técnicas de investigación operativa usando modelos de inventarios ya que evalúa la demanda y las restricciones que tiene cada producto del inventario. Se utilizó fuentes de información secundaria como registros del KARDEX y órdenes de compra del año 2024 del centro de salud integral “La Fuente”. Para el análisis se utilizó el lenguaje de programación R bajo el entorno de desarrollo integrado RStudio. En la presente investigación se aplican diversas técnicas de estadística e investigación operativa, en la parte exploratoria se utilizará el análisis basadas en costos (ABC) con el diagrama de Pareto en la que se identifiquen los productos con mayor porcentaje de costos del centro de salud para posteriormente aplicar los modelos de inventarios determinísticos y probabilísticos hacia los productos seleccionados mediante la metodología.

Haciendo la realización de lo propuesto y verificando la aplicación de técnicas estadísticas, matemáticas y de investigación operativa hacia problemas reales, quedo muy agradecido a los señores miembros del jurado por las observaciones que tengan a formular.

Atentamente,

Br. Kevin Heberth Haquehua Apaza

DEDICATORIA

Primeramente a Dios, por ser el guía en este largo camino, al darme los desafíos y las bendiciones que me permitan desarrollarme mejor como una persona en base a su imagen y la de nuestro señor Jesucristo.

A mi padre Heberth Haquehua, mi madre Bertha Apaza, mi hermana Cielomar Haquehua y a mi familia por haberme dado el apoyo, la fortaleza y la motivación que me permitieron seguir adelante en todos mis proyectos y objetivos planteados.

A la escuela profesional de Matemáticas de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco por haberme desarrollado y orientado hacia el profesional que me estoy convirtiendo y permitiéndome desarrollar todas mis habilidades adquiridas.

A los amigos y personas que conocí a lo largo de la vida desde el colegio, la universidad, el trabajo y la iglesia. Con los cuales pude compartir nuevas experiencias que me permitieron desarrollarme mejor como profesional y persona.

Kevin Heberth Haquehua Apaza

AGRADECIMIENTO

Primeramente agradecer a Dios por ser el guía en la realización del estudio tanto en mi vida personal y profesional, dándome los retos, bendiciones y demostrandome su gracia a lo largo de mi vida.

Agradezco a los docentes del Departamento académico de la Escuela Profesional de Matemática por haberme orientado tanto en la enseñanza y aprendizaje, así como el compartimiento de su sabiduría y experiencia que me permitieron desarrollarme mejor como persona y profesional.

Un agradecimiento al Gerente del Centro de Salud Integral “La Fuente” Dr. Nathanael Henson y a todo su personal laboral por darme la oportunidad de poder ejercer mi profesión así como la aplicación del estudio mostrado, y compartirme su forma de expresar el amor de Dios así como el de nuestro señor Jesucristo.

A mi familia y amigos por su amor y apoyo durante este tiempo. Su constante aliento y motivación han sido razón principal para superar retos y celebrar los logros obtenidos

Un agradecimiento especial a mi asesor Dr. Alfredo Valencia Toledo como un ejemplo de personal docente en la Escuela Profesional de Matemáticas, así como en la orientación y apoyo que me brindó en la realización del trabajo de investigación.

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE	V
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
INTRODUCCIÓN	XV
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Descripción de la situación problemática	1
1.2 Formulación del problema	2
1.2.1 Problema general	2
1.2.2 Problemas específicos	2
1.3 Justificación de la investigación	3
1.4 Objetivos de la investigación	4
1.4.1 Objetivo general	4
1.4.2 Objetivos específicos	4

1.5	Delimitación de la investigación	4
1.5.1	Delimitación espacial	4
1.5.2	Delimitación temporal	4
1.6	Limitación de la investigación	5
2	MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	6
2.1	Antecedentes	6
2.1.1	Antecedentes internacionales	6
2.1.2	Antecedentes nacionales	7
2.1.3	Antecedentes locales	8
2.2	Bases Teóricas	8
2.2.1	Cálculo multivariado	8
2.2.2	Función convexa	10
2.2.3	Máximo y mínimo de una función	12
2.2.4	Variable aleatoria	13
2.2.5	Variable aleatoria discreta	14
2.2.6	Variable aleatoria continua	15
2.2.7	Distribución normal	17
2.2.8	Costos	18
2.2.9	Clasificación de actividades basada en costos (ABC)	19
2.2.10	Inventarios	20
2.2.11	Modelos de inventarios	20
2.2.12	Política sobre un modelo de inventarios	21
2.2.13	Clasificación de un sistema de inventarios	22
2.2.14	Demanda	22
2.2.15	Modelos de inventario determinísticos	23
2.2.16	Modelos de inventario probabilísticos o estocásticos	44
2.2.17	Organización del centro de salud integral “La Fuente”	62
2.3	Marco conceptual	67

3	HIPÓTESIS Y VARIABLES	68
3.1	Hipótesis	68
3.1.1	Hipótesis general	68
3.1.2	Hipótesis específicas	68
3.2	Identificación de variables	68
3.2.1	Variables dependientes	68
3.2.2	Variables independientes	69
3.3	Operacionalización de variables	70
4	METODOLOGÍA	72
4.1	Tipo de investigación	72
4.2	Enfoque de la investigación	72
4.3	Alcance de la investigación	72
4.4	Diseño de la investigación	73
4.5	Población y muestra	73
4.5.1	Población	73
4.5.2	Población de estudio	73
4.6	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	74
4.6.1	Técnica	74
4.6.2	Instrumento	74
4.6.3	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	74
4.7	Técnicas para demostrar la verdad o falsedad de las hipótesis planteadas	74
5	RESULTADOS	75
5.1	Análisis descriptivo de los productos de almacén	75
5.1.1	Nivel de área	75
5.1.2	Nivel de especialidad	76
5.2	Análisis descriptivo mediante actividades basadas en costos (ABC)	81
5.2.1	Selección de productos	82
5.3	Análisis de la demanda y selección del modelo	86

5.4	Determinación de costos	89
5.4.1	Costo de compra	90
5.4.2	Costo de preparación	91
5.4.3	Costo de retención	94
5.5	Políticas de inventario	96
5.5.1	Política de inventarios para los productos seleccionados mediante el análisis ABC	96
5.6	Generación del aplicativo web	141
5.6.1	Presentación del aplicativo	142
5.6.2	Cargar datos	143
5.6.3	Análisis descriptivo general	144
5.6.4	Modelo de inventarios determinísticos	148
5.6.5	Modelo probabilístico	151
DISCUSIONES		153
CONCLUSIONES		155
RECOMENDACIONES		157
BIBLIOGRAFÍA		158
ANEXOS		160
A	Matriz de consistencia	161
B	Plano del centro de salud integral “La Fuente”	162
C	Solicitud de realización de la investigación	164
D	Autorización del Centro de Salud	164
E	Evidencia fotográfica	165
F	Script código R	168
G	Base de datos	184

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Resumen de actividades basadas en costos (ABC)	19
Tabla 2	Valores La Fuente Centro de Salud Integral	63
Tabla 3	Matriz de operacionalización de variables	70
Tabla 4	Resultados por área de productos de almacén	75
Tabla 5	Resultados de insumos del área de oftalmología por especialidad	77
Tabla 6	Resultados de insumos del área de odontología por especialidad	79
Tabla 7	Resultados de la clasificación (ABC)	81
Tabla 8	Resultados por área de productos seleccionados mediante el análisis ABC . .	83
Tabla 9	Resultados por especialidad de productos seleccionados mediante el análisis ABC	83
Tabla 10	Descripción de los productos seleccionados mediante la clasificación (ABC) .	85
Tabla 11	Demanda mensual del año 2024 de los productos seleccionados	87
Tabla 12	Coeficiente de variabilidad y modelo de inventarios de los productos seleccio- nados	88
Tabla 13	Ocupación de los productos seleccionados mediante el análisis ABC	89
Tabla 14	Costos de compra de los productos seleccionados mediante el análisis ABC .	91
Tabla 15	Costo de sueldos en base a costos de preparación	92
Tabla 16	Costos de preparación de los productos seleccionados mediante el análisis ABC	93
Tabla 17	Costo de servicios en base a costos de retención	94
Tabla 18	Costo de sueldos en base a costos de retención	94
Tabla 19	Costos de retención de los productos seleccionados mediante el análisis ABC	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Función convexa evaluada con los puntos P y Q	11
Figura 2	Distribución normal estándar $Z \sim N(0, 1)$	18
Figura 3	Conducta de inventario en el modelo clásico económica de pedido (EOQ) . . .	24
Figura 4	Punto de reorden (R) del modelo (EOQ)	28
Figura 5	Función de costos de inventario con descuentos en el precio	30
Figura 6	Solución óptima del problema de inventario con descuentos	32
Figura 7	Modelo clásico económica de pedido (EOQ) con demanda diferida	37
Figura 8	Modelo clásico EOQ con existencias de reservas B	45
Figura 9	Probabilidad de que se agoten las reservas $P[z \leq K_\alpha] = \alpha$	46
Figura 10	Modelo de inventario probabilístico con faltante	48
Figura 11	Modelo de inventario de un solo periodo con retención y escasez	52
Figura 12	Política de pedido óptima (s-S) del modelo de un solo periodo con costo de preparación	58
Figura 13	Organigrama La Fuente Centro de Salud Integral	66
Figura 14	Productos del área de oftalmología por especialidad en base al (%) de costos .	78
Figura 15	Productos del área de odontología por especialidad en base al (%) de costos .	80
Figura 16	Diagrama de Pareto productos de almacén del centro de salud integral agru- pados por análisis basados en costos (ABC)	82
Figura 17	Productos seleccionados mediante el análisis ABC por especialidad en base al (%) de costos	84
Figura 18	Evolución demanda: Paquete de tratamiento talla “S” de INLASER - Oftal- mología en el año 2024	96

Figura 19 Evolución demanda: KIT para procedimiento quirúrgico oftálmico (pack centurion ultra balance) de FACO - oftalmología	99
Figura 20 Evolución demanda: Bolsa de solución BSS BAG 500 ml de FACO - oftalmología	101
Figura 21 Evolución demanda: Cuchillo de hendidura CLEAR CUT HP2 2.4 mm bisel doble, intrepido sistema microcoaxial de FACO - oftalmología	104
Figura 22 Evolución demanda: AJL VISC 1.4 % - pack solución viscoelástica para uso intraocular de FACO - oftalmología	106
Figura 23 Evolución demanda: Cuchillo lateral CLEAR CUT doble bisel 1.2 mm angulado de insumos generales - oftalmología	109
Figura 24 Evolución demanda: Solución de riboflavina VIBEX RAPID 0.1 % de CROSS-LINKING - oftalmología	111
Figura 25 Evolución demanda: Anterior chamber cannula 27g x 9mm BEND de INLASER - oftalmología	114
Figura 26 Evolución demanda: canula para cistotoma formada 27g de FACO - oftalmología	116
Figura 27 Evolución demanda: Toner TNP80Y yellow para Konica Minolta de Tintas - oftalmología	119
Figura 28 Evolución demanda: Campo quirúrgico para ojos desechable 100 cm x 70 cm de Insumos generales - oftalmología	121
Figura 29 Evolución demanda: Toner TNP80C cyan para Konica Minolta de Tintas - oftalmología	124
Figura 30 Evolución demanda: Lentes de contacto - AIR optix día y noche de Insumos generales - oftalmología	126
Figura 31 Evolución demanda: Toner Konica Minolta BIZHUB C-3320i de Tintas - oftalmología	129
Figura 32 Evolución demanda: Solución salina equilibrada (BSS) en botella de vidrio 500 ml de Catarata - oftalmología	131
Figura 33 Evolución demanda: Campo quirúrgico 100 x 120 cm de Insumos generales - oftalmología	134

Figura 34 Evolución demanda: Azul de tripan 0.06 % - 0.6 mg VIAL x 1 ml / OCUBLU - TRY de Catarata - oftalmología	136
Figura 35 Evolución demanda: Agua destilada y/o desionizada de Esterilización - oftalmología	139
Figura 36 Información general del aplicativo de inventario	142
Figura 37 Cargar datos del aplicativo de inventario	143
Figura 38 Análisis descriptivo general por área del aplicativo de inventario	145
Figura 39 Análisis descriptivo general por especialidad del aplicativo de inventario . . .	146
Figura 40 Análisis descriptivo de actividades basadas en costos (ABC) del aplicativo de inventario	147
Figura 41 Modelo determinístico del aplicativo de inventario	148
Figura 42 Modelo determinístico EOQ con escasez del aplicativo de inventario	150
Figura 43 Modelo determinístico EOQ probabilizado del aplicativo de inventario	151

RESUMEN

Las instituciones sanitarias enfrentan desafíos permanentes en la gestión de inventarios, del cual es fundamental garantizar la disponibilidad oportuna de insumos para contribuir de manera efectiva al bienestar social. En este estudio se analizó los productos de almacén del centro de salud integral “La Fuente” utilizando los modelos de inventarios, la investigación es de tipo aplicada, enfoque cuantitativo, diseño no experimental y alcance descriptivo.

Se clasificaron los productos mediante las actividades basadas en costos (ABC), después se evaluó su coeficiente de variabilidad donde se tuvo un ($CV < 0,20$) por el que los productos fueron analizados mediante el modelo clásico de cantidad de pedido económico (EOQ) en los cuales se halló la política óptima de inventarios. Por último se generó un aplicativo en RShiny para analizar productos adicionales así como la inclusión del modelo EOQ con escasez y modelo probabilizado EOQ con reservas.

Palabras clave: Actividades basadas en costo (ABC), modelos de inventarios determinísticos, modelos de inventario probabilísticos, gerencia hospitalaria.

ABSTRACT

Healthcare institutions face ongoing challenges in inventory management, where ensuring the timely availability of supplies is essential to effectively contribute to social welfare. This study analysed the warehouse products of the Comprehensive Health Centre “La Fuente” through the application of inventory models. The research was applied in nature, adopted a quantitative approach, employed a non-experimental design, and had a descriptive scope.

Products were classified using Activity-Based Costing (ABC), after which their coefficient of variation was assessed, obtaining a result below 0.20 ($CV < 0,20$). Consequently, the products were analysed using the classical Economic Order Quantity (EOQ) model, from which the optimal inventory policy was determined. Finally, a web application in RShiny was developed to analyse additional products, as well as to incorporate the EOQ model with shortages and the probabilistic EOQ model with reserves.

Keywords: Activity-Based Costing (ABC), deterministic inventory models, probabilistic inventory models, hospital management.

INTRODUCCIÓN

La gestión de la calidad en salud del (MINSA) indica que la calidad es cuando el proveedor pone énfasis con la calidad técnica de la atención clínica, el usuario hacia la relación interpersonal, comodidades, limpieza, tiempos de espera, disponibilidad del médico, medicinas. Y el administrador prioriza la eficiencia, eficacia y efectividad.

La Guía Metodológica para la Capacitación de los Procesos del Sistema de Suministro de Medicamentos e Insumos en el Ministerio de Salud (DIGEMID) indica que los problemas de stock generalmente se traducen en periodos de desabastecimiento y sobrestock de medicamentos e insumos, lo que afecta la disponibilidad y accesibilidad.

Existen programas informáticos que ayudan a determinar cuándo es el momento para realizar un requerimiento de un insumo o medicamentos basada en registros de información actualizada, precisa y oportuna. Los registros de consumo y stock son importantes para la planificación y programación del abastecimiento de medicamentos e insumos con la finalidad de mantener un nivel óptimo de existencias para garantizar la disponibilidad de estos y evitar la probabilidad de pérdidas debido al deterioro, vencimiento y sustracciones.

Por lo que se realizó un estudio de investigación, aplicado a la gestión de almacén del centro de salud integral “La Fuente” en el año 2024, tomando las variables más importantes como lo son la demanda, espacio, pedidos, costo de preparación, costo de almacenamiento, costo de compra y tiempo de entrega de cada producto como variables independientes hacia la variable dependiente de cuándo pedir, cuánto pedir, establecer un punto de reorden y obtener los costos óptimos, para de esta forma implantar una política de inventarios óptima.

Los conceptos y herramientas matemáticas utilizadas abarcan desde cálculo al momento de evaluar la continuidad y encontrar los máximos y mínimos óptimos, estadística como variable aleatoria o distribuciones de probabilidad e investigación operativa como los modelos de inventarios con el propósito de encontrar la política de inventarios óptima que debe tener el almacén del centro de salud integral.

El contenido de este trabajo de investigación se subdivide en cinco capítulos que se describen a continuación:

En el primer capítulo se presenta el planteamiento del problema, la formulación del problema, justificación, los objetivos, las delimitaciones, y la limitación.

En el segundo capítulo, se presenta el marco teórico conceptual que contiene los antecedentes encontrados referentes al trabajo de investigación de forma local, nacional e internacional, seguido de las bases teóricas como son conceptos de cálculos multivariado, variable aleatoria, distribución normal, clasificación de actividades basadas en costos y modelos de inventarios; seguido del marco conceptual y la información general del centro de salud integral.

El tercer capítulo, hace referencia a las hipótesis, la identificación de variables y su operacionalización.

El cuarto capítulo, muestra la metodología implementada para realizar el estudio iniciando desde el tipo, enfoque, alcance, diseño de la investigación, la población de estudio, las técnicas e instrumentos empleados.

El quinto capítulo, muestra los resultados obtenidos desde la parte descriptiva, aplicación del modelo, la política óptima de inventarios y el aplicativo web.

Finalmente se muestran las discusiones, conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos que complementan el trabajo de investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la situación problemática

Uno de los problemas más frecuentes que enfrentan las instituciones en general es la gestión de inventarios (Flores Tapia y Flores Cevallos, 2023). Factores asociados son la información limitada o porque no se aplicaron técnicas de investigación de operaciones favorables en la toma de decisiones. Así mismo se ven obligadas a cuidar su inversión y realizar operaciones adecuadas a través del cuidado de sus inventarios. (Yanque Vara et al., 2023)

Magalon Londoño et al. (2016) indican que la complejidad del hospital como organización ha aumentado sin cesar, en la medida que el conocimiento médico logra nuevos avances que requieren tecnología compleja y costosa. Adicionalmente los sistemas de salud se hacen más exigentes y competitivos, con el fin de cumplir los objetivos propuestos y satisfacer las necesidades de las comunidades. Se deben establecer las razones financieras de posición, endeudamiento, eficiencia operativa y rotación de inventarios, para llegar a las razones de rentabilidad, y así hacer análisis de tendencia financiera para el futuro cercano.

Al ser los productos de almacén una proporción significativa de activos, es necesario evaluar los tiempos entre demandas, abastecimientos y niveles de servicio.

Además de que es importante ver la importancia que tienen los productos de inventario en centros de salud como por ejemplo Prawda Witenberg (2000) toma el caso de una emergencia en un hospital que requiera 10 litros de sangre ARh positiva y, por no tenerla en inventario en ese preciso momento, se muere el enfermo. Los costos en la administración serían en algunos casos leves y en otros más extremos fuertes como en el cual tengan que llegar a pagar una indemnización a los deudos repercutiendo en la entidad encargada.

En Perú el encargado de la dirección de almacén y distribución es el CENARES “Centro Nacional de Abastecimiento de Recursos Estratégicos en Salud” perteneciente al Ministerio de Salud encargada de la recepción, almacenamiento, distribución de los recursos estratégicos en salud y otros bienes adquiridos, garantizando su custodia, calidad y distribución oportuna a los

establecimientos del Ministerio de Salud (MINSA), el Seguro Social de Salud (EsSalud), los organismos dependientes de los gobiernos regionales y de otras entidades de salud.

En el centro de salud integral La Fuente el ente encargado de las principales direcciones de almacén es el área de logística. En el cual en los últimos años gestionaron los productos de almacén mediante los registros, cotizaciones, seguimientos entre otros para las distintas áreas del centro de salud (oftalmología y odontología principalmente), teniendo resultados muy favorables para el centro de salud ya que se pudo tener un mejor control de la gestión de inventarios.

Ahora se desea evaluar si los productos registrados y obtenidos por los distintos proveedores son óptimos de tal forma que se tenga un balance entre el abastecimiento de productos con sus precios así como la demanda de los pacientes al momento de necesitar los productos en las diversas especialidades. Los modelos de inventarios ayudan a reducir o minimizar los niveles de inventario requeridos en las empresas.

Por tal motivo se presenta la siguiente investigación en el que se pretende mejorar el abastecimiento de almacén así como la evaluación de los productos obtenidos, del mismo modo saber el momento adecuado para realizar los pedidos de almacén de productos.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo implementar los modelos de inventarios para optimizar el control de almacén del centro de salud integral La Fuente del Cusco durante el año 2024?

1.2.2 Problemas específicos

El estudio toma en cuenta los siguientes problemas específicos:

- ¿Cuáles son los productos más demandados y/o costosos en el centro de salud integral La Fuente del Cusco?
- ¿Qué modelo de inventarios se adecua a los productos más demandados y/o costosos del centro de salud integral La Fuente del Cusco?

- ¿Cuál es la cantidad, periodo y costos de pedido óptimo para los productos más demandados y/o costosos del centro de salud integral La Fuente del Cusco mediante el modelo de inventarios?
- ¿Cómo desarrollar un aplicativo web que apoye con el monitoreo y seguimiento de los productos del centro de salud integral La Fuente del Cusco?

1.3 Justificación de la investigación

El estudio emplea técnicas de investigación operativa, específicamente los modelos de inventarios como herramienta principal de análisis, el cual contribuye en aplicaciones de modelos matemáticos y estadísticos evaluando sus principios, definiciones, y casos de uso de cada modelo. Facilitando la selección del modelo más adecuado según las características y necesidades del sistema analizado.

Usar modelos de inventarios como estrategia ayudan a establecer razones financieras, reduciendo costos por mantenimientos, sobrestock y tiempo que se le pueda dedicar a estas actividades. De tal manera que también se ve un incremento financiero para el centro de salud generando beneficios económicos.

Asimismo en el ámbito de la salud, tener los insumos necesarios en el tiempo solicitado constituye un componente fundamental en los servicios de salud, garantizando la calidad de la atención brindada y asimismo evitando contratiempo que puedan repercutir en consecuencias muy graves tanto en la parte de la salud del paciente como en la parte administrativa que conlleve. Por lo que mantener un nivel óptimo de inventario basada en los costos, la demanda y una gestión eficiente garantiza la disponibilidad continua y minimiza riesgos de desabastecimiento.

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo general

Implementar los modelos de inventarios para optimizar el control de almacén del centro de salud integral La Fuente del Cusco durante el año 2024.

1.4.2 Objetivos específicos

- Clasificar los productos más demandados y/o costosos del centro de salud integral La Fuente del Cusco aplicando el análisis de actividades basadas en costo (ABC).
- Identificar el mejor modelo de inventarios para los productos más demandados y/o costosos del centro de salud integral La Fuente del Cusco.
- Determinar la cantidad, el tiempo y costos de pedido óptimo mediante el modelo de inventarios identificado para los productos más demandados y/o costosos del centro de salud integral La Fuente del Cusco.
- Desarrollar un aplicativo web en Shiny para realizar el monitoreo y seguimiento de los productos del centro de salud integral La Fuente del Cusco.

1.5 Delimitación de la investigación

1.5.1 Delimitación espacial

El presente estudio es está llevando a cabo en el centro de salud integral “La Fuente”, ubicado geográficamente en el distrito de San Jerónimo, provincia de Cusco y región del Cusco. La unidad de análisis son los inventarios que se encuentran en almacén del centro de salud.

1.5.2 Delimitación temporal

Al ser un estudio transversal se tomará en cuenta la recopilación de información en el área de logística del centro de salud integral en el año 2024. En los cuales se toma información que

contenga las entradas, salidas de productos, ventas, métricas de espacio, entre otros.

1.6 Limitación de la investigación

Para el estudio de investigación se presentaron la siguiente limitación:

- Escasa literatura de trabajos de investigación sobre modelo de inventarios con enfoque al área de estadística o matemática.
- Información no organizada conforme a la metodología de modelos de inventarios en el centro de salud, debido a que no se tuvieron estudios previos realizados.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes internacionales

Gallardo y Andrés (2016) desarrollaron el trabajo *"Propuesta de mejora para la gestión de inventarios de sociedad repuestos España limitada"* en el cual explicaron el funcionamiento de la empresa Repuestos España dedicada en la comercialización, en el que observaron problemas en las políticas de inventarios afectando la rentabilidad de la empresa, entonces utilizando modelos de teoría de inventarios como modelos de gestión de inventarios, demandas y costos, pronósticos, principio de Pareto para la clasificación ABC, determinaron los productos más importantes de la empresa, proyectando su demanda a periodo futuro y además implantando una política de inventario disminuyendo los costos y aumentando la eficiencia de la empresa, permitiéndoles una disminución de \$3, 245.428 anuales.

En el trabajo de Loja Guarango (2015) titulado *"Propuesta de un sistema de gestión de inventarios para la empresa FEMARPE CIA.LTDA"* se buscó realizar un sistema de gestión de inventarios definiendo los temas relacionados a inventarios, realizando una propuesta de gestión para los inventarios, describiendo a la empresa FEMARPE CIA.LTDA evaluando su situación actual. Posteriormente se determinó el mejor modelo que se adapte a la empresa evaluando sus aspectos principales y de la misma forma crear la base de datos que requiera un sistema. Concluyendo que la empresa FEMARPE CIA.LTDA tuvo un gran progreso pero que no lleva ningún fundamento científico en las acciones de nivel administrativo, con la cual se elaboró una propuesta de administración de inventarios incluyendo: Implementación del sistema de las 5 S Japonesas, estandarización del seire, seiton y seiso, clasificación de inventarios por el método ABC para evitar gastos ocasionados por levantamientos anuales de inventarios.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Cáceres y del Pilar (2010) en su trabajo titulado *"Propuesta de un modelo de gestión de inventarios que permita mejorar la planeación y la distribución de las medicinas a las farmacias de un hospital"* realizaron la aplicación de la gestión de inventarios en el Hospital Edgardo Rebagliati, en las cuales primeramente describieron la entidad en donde se realizó el estudio y la relación que tiene las áreas de logística y farmacia en la distribución de medicamentos de farmacia, utilizando la información de los movimientos de stock del SAP registrados en el KARDEX del área, se presentaron los movimientos realizados de los medicamentos, comparando los precios ofertados por diferentes proveedores. Se observó problemas con su modelo actual de inventarios como tiempos de entrega lento, sobre stock de los medicamentos, desabastecimientos y programaciones de abastecimientos para las diferentes farmacias; por lo que usando el modelo de inventarios empezando con la clasificación de productos con la metodología ABC y la matriz de Kraljic observaron los productos estratégicos, implantando en estos un modelo de revisión continua. Determinando los costos, demanda y precios de los productos procedieron a aplicar modelos de gestión de inventarios, concluyendo que el problema de desabastecimiento del Seguro Social se origina por las ineficientes programaciones de las necesidades de cada farmacia conjuntamente con la mala comunicación con el departamento de logística, productos estratégicos, de apalancamiento y cuellos de botella en el que se debe de contar con un modelo de revisión continua de inventarios ya que son los más importantes a controlar mediante la clasificación de la matriz Karljic, mientras que los otros productos requieren un modelo de inventarios periódico; para de esta manera optimizar los costos de inventario.

Caballero Rodriguez (2007) en su trabajo titulado *"Control de inventario para una empresa de capacitación en el área de salud"* desarrolló los conceptos fundamentales de logística y de sistemas de inventarios para mejorar el desempeño de sus actividades de aprovisionamiento, almacenamiento, producción y distribución de los materiales de escritorio y procesamiento de datos usando Microsoft Excel. En el cual determinaron la cantidad óptima de ordenar cada material y cuándo realizar el pedido minimizando los costos totales de inventario de tal forma que el departamento de Logística pueda gestionar eficientemente el sistema de inventarios obteniendo

un control eficiente de la administración de existencias.

2.1.3 Antecedentes locales

El trabajo de Aguilar Huilcahuaman (2017) titulado *"Análisis del inventario de almacén en la distribuidora Valle Sur S.A. - 2017; mediante el programa de inventario de almacén INVAL"* desea optimizar los pedidos en periodos y cantidades tomando datos de la demandas de bebidas de diferentes tipos, sabores y tamaños del año 2014 por jabas. Utilizando SPSS 18 realizó la prueba de aleatoriedad de la demanda en el cual determinó el uso de un modelo determinístico en base al modelo cantidad económica de pedido de varios artículos con limitación de almacén. Posterior utilizó el programa INVAL que aportó el mismo autor para realizar el análisis de datos en el cual se determinó la cantidad óptima de pedido de productos.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Cálculo multivariado

Se amplían los conceptos de límites, continuidad, diferenciación en una función que en lugar de que sea en una variable x , se tiene una función en la que se tienen muchas variables $\mathbf{x}$ que es denominada como un vector de variables. (Khuri, 2002)

Si se denota como $\mathbb{R}^n$ a un espacio euclidiano de dimensión n con $n \geq 1$, entonces se definen funciones en un conjunto $D \subset \mathbb{R}^n$ que tiene valores en $\mathbb{R}^m, m \geq 1$. Las funciones son representadas de forma simbólica como $\mathbf{f} : D \rightarrow \mathbb{R}^m$, donde $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in D$ tal que

$$\mathbf{f}(\mathbf{x}) = [f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}), \dots, f_m(\mathbf{x})]$$

Donde para cada $f_i(\mathbf{x})$ es una función de valor real para $x_1, x_2, \dots, x_n$ ($i = 1, 2, \dots, m$)

Límites de una función multivariable

En una variable el límite viene a ser cuando $x \rightarrow a$ en dos direcciones (derecha e izquierda). Entonces para una función de varias variables, se dice que $x_1, x_2, \dots, x_n$ es un límite en un punto $\mathbf{a} = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ cuando $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ se aproxima hacia $\mathbf{a}$ en cualquier dirección posible, por lo que para $n > 1$ existen muchas formas en las que $\mathbf{x}$ pueda aproximarse hacia $\mathbf{a}$.

Definición 2.2.1. Sea $\mathbf{f} : D \rightarrow \mathbb{R}^m$, donde $D \subset \mathbb{R}^n$, entonces se dice que $\mathbf{f}(\mathbf{x})$ tiene un límite $\mathbf{L} = (L_1, L_2, \dots, L_m)$ donde $\mathbf{x}$ se aproxima hacia $\mathbf{a}$, descrito como $\mathbf{x} \rightarrow \mathbf{a}$, donde $\mathbf{a}$ es un punto límite de D , si para cada $\epsilon > 0$ existe un $\delta > 0$ tal que $\|\mathbf{f}(\mathbf{x}) - \mathbf{L}\| < \epsilon$ para todos los $\mathbf{x}$ en $D \cap N_\delta^d(\mathbf{a})$ donde $N_\delta^d(\mathbf{a})$ es una vecindad de $\mathbf{a}$ de radio δ . Descrito de la forma $\lim_{\mathbf{x} \rightarrow \mathbf{a}} \mathbf{f}(\mathbf{x}) = \mathbf{L}$

Continuidad de una función multivariable

Definición 2.2.2. Sea $\mathbf{f} : D \rightarrow \mathbb{R}^m$, donde $D \subset \mathbb{R}^n$ y sea $\mathbf{a} \in D$. Se dice que $\mathbf{f}$ es continuo en $\mathbf{a}$ si

$$\lim_{\mathbf{x} \rightarrow \mathbf{a}} \mathbf{f}(\mathbf{x}) = \mathbf{f}(\mathbf{a})$$

Para todos los $\mathbf{x} \in D \cap N_\delta^d(\mathbf{a})$

Si $\mathbf{f}$ es continuo en cada punto $\mathbf{x}$ en D entonces se dice que es continuo en D . De forma general si $\mathbf{f}$ es continuo en D y si δ depende solo de ϵ , entonces $\mathbf{f}$ es uniformemente continuo en D

Derivada de una función multivariable

De igual forma extendiendo el concepto de diferenciación en una función multivariable $\mathbf{f} : D \rightarrow \mathbb{R}^m$ donde $D \subset \mathbb{R}^n$. Sea $\mathbf{a} = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ como un punto interior de D . Suponga que el límite existe

$$\lim_{h_i \rightarrow 0} \frac{\mathbf{f}(a_1, a_2, \dots, a_i + h_i, \dots, a_n) - \mathbf{f}(a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n)}{h_i}$$

- **Derivada parcial:** La derivada parcial de la función $\mathbf{f}$ con respecto de x_i hacia $\mathbf{a}$ denotada como $\frac{\partial \mathbf{f}(\mathbf{a})}{\partial x_i}$ o $\mathbf{f}_{x_i}(\mathbf{a})$, $i = 1, 2, \dots, n$ se obtiene al mantener fija la variables x_j , $j \neq i$ y

determinar la derivada de x_i en la función.

Definición 2.2.3. Sea $f : D \rightarrow \mathbb{R}$, donde $D \subset \mathbb{R}^n$. Si existe la derivada parcial de $\frac{\partial f}{\partial x_i}$ ($i = 1, 2, \dots, n$) en cada punto $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ en el interior de D , entonces el vector $\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}, \frac{\partial f}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial f}{\partial x_n}\right)$ es llamada el **gradiente** de f hacia $\mathbf{x}$, denotada como $\nabla f(\mathbf{x})$

Método de los multiplicadores de Lagrange

Este método que se debe a Joseph Louis de Lagrange (1736 - 1813) es usada para optimizar una función real $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ donde $x_1, x_2, \dots, x_n$ están sujetas a m restricciones donde $m < n$ de la forma

$$\begin{aligned} g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0, \\ g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0, \\ &\vdots \\ g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0, \end{aligned}$$

Donde $g_1, g_2, \dots, g_m$ son funciones diferenciables. La determinación de los puntos estacionarios en el problema de optimización restringida está determinada por la función

$$F(\mathbf{x}) = f(\mathbf{x}) + \sum_{j=1}^m \lambda_j g_j(\mathbf{x})$$

Donde $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ y $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ son escalares llamados *multiplicadores de Lagrange*, esto también puede ser expresado en función del vector gradiente de la siguiente manera

$$\nabla f(\mathbf{x}) + \sum_{j=1}^m \lambda_j \nabla g_j = \mathbf{0}$$

2.2.2 Función convexa

Las funciones convexas son utilizadas con frecuencia en investigación de operaciones que vienen a ser continuos. (Khuri, 2002)

Definición 2.2.4. Un conjunto $D \subset \mathbb{R}$ es convexo si $\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2 \in D$ para cualquier $x_1, x_2 \in D$ y $0 \leq \lambda \leq 1$

De forma geométrica un conjunto convexo debe contener un segmento que conecte dos puntos. La misma definición se aplica al conjunto convexo en un espacio euclidiano $\mathbb{R}^n$, ($n \geq 2$)

Definición 2.2.5. Una función $f : D \rightarrow \mathbb{R}$ es convexa si

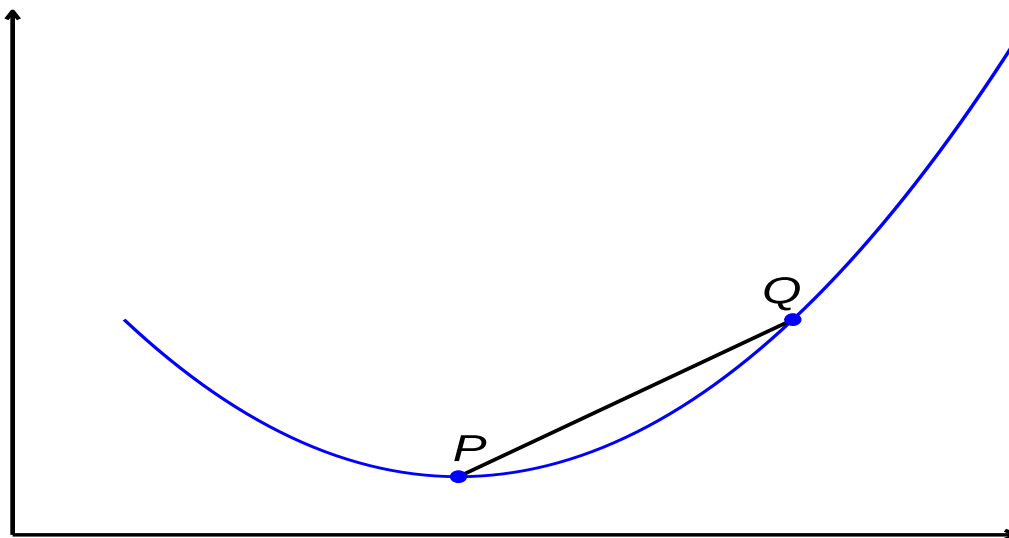
$$f[\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2] \leq \lambda f(x_1) + (1 - \lambda)f(x_2)$$

Para todo $x_1, x_2 \in D$ y cualquier λ tal que $0 \leq \lambda \leq 1$. La función f es estrictamente convexa si la desigualdad se cumple para $x_1 \neq x_2$

Geométricamente en la Figura 1 se observa un gráfico $y = f(x)$ y dos puntos P y Q en y , donde la función del gráfico entre P y Q es convexa ya que se encuentra debajo del segmento PQ .

Figura 1

Función convexa evaluada con los puntos P y Q



Definición 2.2.6. Una función $f : D \rightarrow \mathbb{R}$ es concava si $-f$ es convexa

Teorema 2.2.1. Sea f definida en un punto x_0 . Si f tiene una derivada en x_0 , entonces es continuo en x_0

Demostración

De la definición de derivada, se determina la siguiente igualdad

$$\begin{aligned}\phi(h) &= \frac{f(x_0 + h) - f(x_0)}{h} \\ h\phi(h) &= f(x_0 + h) - f(x_0)\end{aligned}$$

Si existe la derivada de $f(x)$ en x_0 , entonces $\phi(h) \rightarrow f'(x_0)$ y como $h \rightarrow 0$ la expresión se desprende como

$$f(x_0 + h) - f(x_0) \rightarrow 0$$

Por lo que para un determinado $\epsilon > 0$ existe un $\delta > 0$ tal que

$$|f(x_0 + h) - f(x_0)| < \epsilon$$

Si $|h| < \delta$, se indica que $f(x)$ es continuo en x_0

2.2.3 Máximo y mínimo de una función

Para encontrar los máximos y mínimos de una función que sirve para hallar los valores óptimos, se debe encontrar los extremos de la función f definida por $y = f(x)$ cuya derivada $f'(x)$ existe en cualquier conjunto abierto dentro de su dominio. (Khuri, 2002)

Definición 2.2.7. Una función $f : D \rightarrow \mathbb{R}$ tiene un máximo local en un punto $x_0 \in D$ si existe $\delta > 0$ tal que $f(x) \leq f(x_0)$ para todo $x \in N_\delta(x_0) \cap D$. La función f tiene un mínimo local en x_0 si $f(x) \geq f(x_0)$ para todo $x \in N_\delta(x_0) \cap D$.

Definición 2.2.8. Una función $f : D \rightarrow \mathbb{R}$ tiene un máximo absoluto encima de D si existe un punto $x^* \in D$ tal que $f(x) \leq f(x^*)$ para todo $x \in D$. La función f tiene un mínimo absoluto encima de D si existe un punto $x^* \in D$ tal que $f(x) \geq f(x^*)$ para todo $x \in D$.

La determinación de los óptimos locales de f son facilitados si f es diferenciable

Teorema 2.2.2. Sea $f(x)$ diferenciable en un intervalo abierto (a, b) . Si $f(x)$ tiene un máximo o mínimo local en un punto x_0 en (a, b) , entonces $f'(x_0) = 0$

Demostración

Suponga que f tiene un máximo local en x_0 . Entonces $f(x) \leq f(x_0)$ para todo x en una vecindad $N_\delta(x_0) \subset (a, b)$ resulta

$$\frac{f(x) - f(x_0)}{x - x_0} = \begin{cases} \leq 0, & \text{si } x > x_0 \\ \geq 0, & \text{si } x < x_0 \end{cases} \quad (2.1)$$

Para todo x que pertenece a $N_\delta(x_0)$ como $x \rightarrow x_0^+$ la relación tendrá un límite no positivo, y si $x \rightarrow x_0^-$ la relación tendrá un límite no negativo. Mientras $f'(x_0)$ exista estos dos límites deben ser iguales a $f'(x_0)$ como $x \rightarrow x_0$ en lo que se concluye que $f'(x_0) = 0$.

De igual forma suponga que $f(x)$ tiene un mínimo local en x_0 . Entonces $f(x) \geq f(x_0)$ para todo x en una vecindad $N_\delta(x_0) \subset (a, b)$ resulta

$$\frac{f(x) - f(x_0)}{x - x_0} = \begin{cases} \geq 0, & \text{si } x > x_0 \\ \leq 0, & \text{si } x < x_0 \end{cases} \quad (2.2)$$

Para todo x que pertenece a $N_\delta(x_0)$ como $x \rightarrow x_0^+$ la relación tendrá un límite no negativo, y si $x \rightarrow x_0^-$ la relación tendrá un límite no positivo. Mientras $f'(x_0)$ exista estos dos límites deben ser iguales a $f'(x_0)$ como $x \rightarrow x_0$ en lo que se concluye que $f'(x_0) = 0$.

Una aplicación de la segunda derivada es la prueba para identificar valores máximos y mínimos locales como una consecuencia de la prueba de concavidad que sirve como alternativa a la primera prueba de la derivada (Stewart, 2016)

■ **Prueba de la segunda derivada** Suponga que f'' es continuo cerca de un punto c .

- a) Si $f'(c) = 0$ y $f''(c) > 0$, entonces f tiene un mínimo local en c .
- b) Si $f'(c) = 0$ y $f''(c) < 0$, entonces f tiene un máximo local en c .

2.2.4 Variable aleatoria

El concepto de variable aleatoria se define como una función del espacio muestral en el conjunto de números reales, esto permite considerar el resultado de un experimento aleatorio

como un número real tomado por la variable aleatoria (Rincón, 2014).

En general la variable aleatoria asigna un número real x a cada elemento e del espacio muestral Ω . El dominio de X es Ω y los números en el rango son números reales, en el cual la función X se denomina variable aleatoria (Hines y Montgomery, 1988).

Definición 2.2.9. Si E es un experimento aleatorio que tiene espacio muestral Ω , y X es una función que asigna un número real $X(e)$ para todo resultado $e \in \Omega$, entonces $X(e)$ se llama variable aleatoria.

Función de distribución

Por convención se utiliza una letra minúscula para denotar un valor particular de una variable aleatoria, del modo que $(X = x)$ es un evento del espacio del rango de la variable aleatoria X , donde x es un número real. La probabilidad del evento $(X \leq x)$ puede expresarse como la función de x en la siguiente forma

$$F(x) = P(X \leq x) \quad (2.3)$$

Donde $F(x)$ es llamada función de distribución, o función de distribución acumulativa de la variable aleatoria X

2.2.5 Variable aleatoria discreta

Generalmente estan relacionados al conteo, en el cual si X es una variable aleatoria discreta, entonces $F(x)$ tendrá un número contablemente infinito de saltos y su rango $R = \{x_1, x_2, \dots, x_k, \dots\}$

Definición 2.2.10. Si X es una variable aleatoria discreta, asociamos un número

$p(x_i) = P(X = x_i)$ con cada resultado x_i , en R para $i = 1, 2, \dots, n, \dots$ donde los números $p(x_i)$ satisfacen

1. $p(x_i) \geq 0$ para todo i

2. $\sum_{i=1}^{\infty} p(x_i) = 1$

En lo cual se observa que

$$p(x_i) = F(x_i) - F(x_{i-1}) \quad (2.4)$$

y

$$F(x_i) = P(X \leq x_i) = \sum_{x \leq x_i} p(x) \quad (2.5)$$

Empleando la ecuación (2.4) notamos el siguiente resultado para $b \geq a$

$$P(a < X \leq b) = F(b) - F(a) \quad (2.6)$$

Esperanza

Sea X una variable aleatoria discreta con función de probabilidad $f(x)$. La esperanza de X se define como el número

$$E(X) = \sum_x x f(x) \quad (2.7)$$

Varianza

Sea X una variable aleatoria discreta con función de probabilidad $f(x)$. La varianza de X se define como el número

$$Var(X) = \sum_x (x - \mu)^2 f(x) \quad (2.8)$$

Donde μ es la esperanza de X ($E[X]$) (Rincón, 2014)

2.2.6 Variable aleatoria continua

En este caso se tiene un tramo continuo en los cuales el rango R consistirá en uno o más intervalos, en la cual se define la función de densidad $f(x)$ como

$$f(x) = \frac{d}{dx} F(x) \quad (2.9)$$

y resulta que

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt \quad (2.10)$$

En la cual tiene la misma forma que (2.5) reemplazando el simbolo de la sumatoria por la integral, entonces se tienen las siguientes propiedades de $f(x)$

1. $f(x) \geq 0$ para todo $x \in R_x$
2. $\int_{R_x} f(x)dx = 1$
3. $f(x)$ es un tramo continuo.
4. $F(x) = 0$ si $x \notin R_x$

De la misma forma en un rango para x la función f es estable si cumple lo siguiente

$$P\{e \in \Omega : a \leq X(e) \leq b\} = \int_a^b f(x)dx \quad (2.11)$$

(Hines y Montgomery, 1988)

Esperanza

Sea X una variable aleatoria continua con función de densidad $f(x)$, la esperanza esta definida como

$$E(X) = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx \quad (2.12)$$

Suponiendo que esta integral es absolutamente convergente, es decir, cuando la integral de los valores absolutos es convergente.

Varianza

Sea X una variable aleatoria continua con función de densidad $f(x)$. La varianza de X se define como el número

$$Var(X) = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^2 f(x)dx \quad (2.13)$$

Donde μ es la esperanza de X ($E[X]$), además de que esta integral debe ser convergente (Rincón, 2014).

2.2.7 Distribución normal

La distribución normal es de las más importantes tanto en la parte teórica como la aplicativa de la estadística (Hines y Montgomery, 1988). Se afirma que una variable aleatoria X tiene una distribución normal con media μ ($-\infty < \mu < \infty$) y varianza $\sigma^2 > 0$ y tiene la función de densidad

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (2.14)$$

Con media μ y varianza σ^2 . Su notación abreviada es $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ para indicar que la variable aleatoria X se distribuye normalmente con media μ y varianza σ^2 .

Distribución normal acumulativa

La función de distribución acumulativa F es

$$F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} d\mu \quad (2.15)$$

La evaluación de la integral es muy complicado, por lo que es necesario aplicar métodos numéricos. Sin embargo una transformación de variables $z = \frac{x-\mu}{\sigma}$, permite que la evaluación sea independiente de μ y σ . de la siguiente forma

$$\begin{aligned} F(x) &= P(X \leq x) = P\left(Z \leq \frac{x-\mu}{\sigma}\right) \\ F(x) &= \int_{-\infty}^{(x-\mu)/\sigma} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \\ F(x) &= \int_{-\infty}^{(x-\mu)/\sigma} \varphi(z) dz \\ F(x) &= \Phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right) \end{aligned} \quad (2.16)$$

Distribución normal estándar

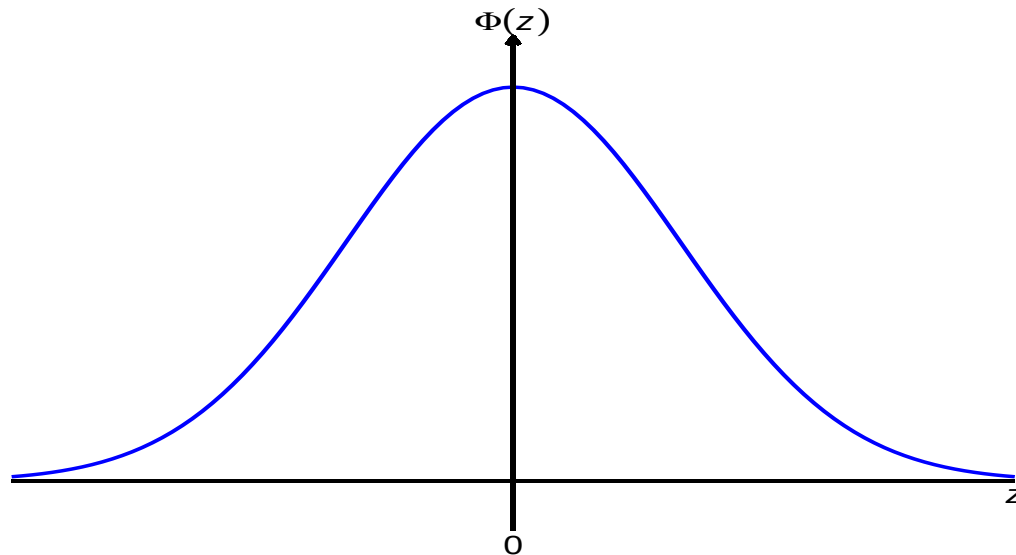
De la distribución de probabilidad en (2.16) se tiene

$$\varphi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} \quad -\infty < z < \infty \quad (2.17)$$

Es una distribución normal con media 0 y varianza 1, esto indica que $Z \sim N(0, 1)$ en la cual Z es una *distribución normal estándar*, su gráfica de función de densidad se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Distribución normal estándar $Z \sim N(0, 1)$



La función de distribución correspondiente ahora es Φ

$$\Phi(z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad (2.18)$$

2.2.8 Costos

La contabilidad de costos determina el costo estimado hacia el real del producto o servicio para valorarlo y considerarlo en su precio de venta. La gestión de costos es la actividad de medición y análisis. (Toomey, 2000)

Los costos deben considerar tanto los costos directos e indirectos, como por ejemplo el costo directo viene a ser el costo de compra mientras que los costos indirectos viene a ser los gastos generales de fabricación y materiales. Haeussler y Paul (2003) indican que el *costo fijo* es la suma de costos independientes del nivel de producción como renta, seguros entre otros; mientras que el *costo variable* es la suma de todos los costos dependientes del nivel de producción como salarios y materiales. De esta forma el *costo total* es la suma de los costos variables y fijos.

2.2.9 Clasificación de actividades basada en costos (ABC)

Toomey (2000) lo indica como un modo alternativo a la gestión de costos en el cual se acumulan los costos de los productos o servicios brindados de tal forma que clasifica los trabajos en base a sus costos acumulados, en lugar de categorías contables que permita una gestión de costos efectiva. Su propósito es dividir todos los productos o artículos que se tienen en el inventario y clasificarlas en tres grupos (A, B y C), en el cual se le debe dedicar más tiempo a la administración a los productos que representan el mayor costo monetario (Render et al., 2006).

La clasificación de los productos son descritos a continuación:

1. **Grupo A:** Son los productos que poseen la mayor parte de los costos de todo el inventario que suele conformar el 70 %, sus niveles de inventario deben ser monitoreados con una prioridad alta aunque estos solo comprendan el 10 % de todos los artículos del inventario, siendo así su tiempo de dedicación no muy alto.
2. **Grupo B:** Son los productos que poseen costos moderados de todo el inventario conformando el 20 % siendo menores a los del grupo A, sus productos comprenden también el 20 % de todos los artículos del inventario, por lo cual su tiempo de dedicación debería ser menor a los del grupo A, especialmente a los costos más altos del grupo B.
3. **Grupo C:** Son los productos que poseen la menor cantidad de costos del inventario conformando solo el 10 %, aunque sus productos comprenden el 70 % de todo el inventario. Para este grupo no es beneficioso dedicar mucho tiempo a la administración de sus artículos como a los de grupo A y B.

La Tabla 1 resume el análisis ABC.

Tabla 1
Resumen de actividades basadas en costos (ABC)

Grupo	(%) de Costos	(%) ocupación del inventario	Usar técnicas cuantitativas
A	70 %	10 %	Si
B	20 %	20 %	Los que tienen costos altos
C	10 %	70 %	No

2.2.10 Inventarios

La sociedad estadounidense de producción e inventario (APICS) lo define como la rama de la gestión empresarial que se ocupa de la planificación y el control de inventarios, en el cual su función es mantener un nivel de existencias deseado de productos o artículos específicos. (Toomey, 2000)

El rol principal del inventario es servir o brindar servicio al cliente, esto implica factores como la disponibilidad de la cantidad pedida, momento correcto, lugar correcto y costo correcto. Su objetivo principal es minimizar las inversiones en inventarios y al mismo tiempo cumplir con los requisitos funcionales sin alterar las operaciones normales.

Un sistema que controla los inventarios tiene que ser compatible con los objetivos, funciones y demandas del inventario en particular.

2.2.11 Modelos de inventarios

Los problemas de inventarios son relacionados sobre reservas de cierto artículo o insumo utilizado para satisfacer las demandas. Por lo cual el exceso de existencias provoca un mayor costo de capital y almacenamiento, mientras que el desabastecimiento interrumpe las producciones y/o las ventas. En el que se debe optimizar el nivel de inventario que equilibre las dos situaciones minimizando una función de costo apropiada. Esto se define en diseñar una *política de inventario* (Taha, 2012) que responda las preguntas:

1. ¿Cuánto pedir?
2. ¿Cuándo pedir?

En la cual su base del modelo de inventario es la siguiente función de costo genérica para el costo total del inventario $CTI(y)$

$$\left(\begin{array}{c} \text{Costo total del} \\ \text{inventario} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Costo de} \\ \text{compra} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{Costo de} \\ \text{preparación} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{Costo de} \\ \text{retención} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{Costo por} \\ \text{escasez} \end{array} \right)$$

Donde:

1. **Costo de compra (C):** Es el costo por unidad de un artículo de inventario. Puede haber momentos en que el artículo se ofrece con descuento si el tamaño del pedido excede una cantidad determinada, lo cual es un factor importante a tomar en cuenta al momento de tomar la decisión de *cuánto pedir*.
2. **Costo de preparación (K):** Representa los costos que incurren cuando se coloca un pedido, es decir los costos que llevan la elaboración o brindación del servicio o su producto independientemente de su tamaño.
3. **Costo de retención (almacenamiento) (h):** Representa el costo de mantener las existencias de productos sobrantes. Estos costos incluyen el interés sobre el capital y el costo de almacenamiento, mantenimiento y manejo del producto.
4. **Costo por escasez (faltante) (p):** Este costo es tomado como una penalización en que se incurre cuando se agotan las existencias. Incluye la pérdida potencial de ingresos, la interrupción de la producción y el costo subjetivo de pérdida de lealtad del cliente debido a la falta del producto.

Esto también puede expresarse de la siguiente manera:

$$CTI(y) = C + K + h + p \quad (2.19)$$

2.2.12 Política sobre un modelo de inventarios

Entonces se hacen las siguientes preguntas sobre cuando y cuanto debe reabastecerse un inventario. Por el cual la administración científica de inventarios debe comprender los siguientes pasos:

1. Plantear un *modelo matemático* que describa el comportamiento del sistema de inventarios.
2. Elaborar una política óptima de inventarios a partir del modelo.
3. Utilizar un *sistema de procesamiento de información computarizado* para mantener registros de los niveles del inventario.

4. A partir de estos registros, utilizar la política óptima de inventarios para señalar cuándo y cuánto conviene reabastecer.

Los modelos matemáticos de inventarios que se utilizan bajo estos pasos son los modelos determinísticos y estocásticos, el modelo dependerá según la posibilidad de predecir la demanda. (Hillier y Lieberman, 2003)

2.2.13 Clasificación de un sistema de inventarios

Asimismo un sistema de inventario puede requerir *revisiones periódicas* es decir en un cierto intervalo de tiempo como una semana o cada mes. De forma alterna puede estar basado en *revisiones continuas*, que es cuando se realiza un pedido cuando el nivel del inventario se reduce a un punto de volver a pedir o *punto de reorden (R)*.

2.2.14 Demanda

La complejidad de los modelos de inventario depende de si la demanda (D) es determinística o probabilística, además que esta pueda variar con el tiempo. (Hillier y Lieberman, 2003)

Cuando se tiene una demanda determinística se conocen los pedidos siguientes, asimismo sobre intervalos de tiempos iguales la demanda puede ser constante (estática) o variable (dinámica).

En el caso de una demanda probabilística se efectúa cuando la demanda en un periodo de tiempo es incierta, pero puede describirse en términos de una distribución de probabilidad, en el caso de las demandas probabilísticas se tienen que estas puedan ser estacionarias o no estacionarias sobre el tiempo.

Entonces para seleccionar el modelo de inventario, debemos determinar si se va a utilizar un modelo determinístico o probabilístico. Esta decisión es más factible calculando el *coeficiente de variabilidad (CV)* tomando los siguientes pasos

1. Calcular la demanda promedio en el periodo evaluado es decir tomar la *Media*.

$$Media = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i$$

2. Encontrar una estimación de la varianza de la demanda por periodo, es decir tomar la *Varianza*.

$$Varianza = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (d_i - Media)^2$$

3. Determinar el coeficiente de variabilidad (CV) que representa la variabilidad relativa de la demanda con la siguiente fórmula

$$CV = \frac{Varianza}{Media^2} \quad (2.20)$$

4. Si el (CV) (2.20) es menor a 0.20, indica que la demanda es relativamente estable en los periodos evaluados, y por lo tanto tiene una demanda determinística. Si resulta mayor o igual a 0.20 indica que la demanda no es estable y además, por lo que posee una demanda probabilística.

2.2.15 Modelos de inventario determinísticos

Este modelo asume que la demanda y el tiempo de entrega son conocidos y fijos, adicionalmente en los modelos estáticos se tiene una demanda constante en función del tiempo. (Taha, 2012)

2.2.15.1 Modelo clásico de cantidad económica de pedido (EOQ)

La abreviación EOQ proviene del inglés (economic order quantity) que significa cantidad económica pedido. Este primer modelo asume que la demanda es constante y las ordenes llegan en el momento que se están solicitando. Se basa en los siguientes supuestos:

1. Tasa de demanda conocida por unidad de tiempo.
2. La cantidad ordenada de inventario llega cuando se desea, indicando un tiempo de espera igual a cero.
3. No se tienen faltantes.

Como la demanda es constante a través de los intervalos de tiempo, se tiene un inventario disminuido con comportamiento uniforme, de tal forma que cuando el inventario llega a una cantidad nula o cero, con el nuevo pedido este nivel de inventario debe incrementarse a “y” unidades. El proceso continuará con esta conducta a través del tiempo.

Según al modelo se definen las siguientes componentes:

y = Cantidad de pedido, que viene a ser el número de unidades pedidas.

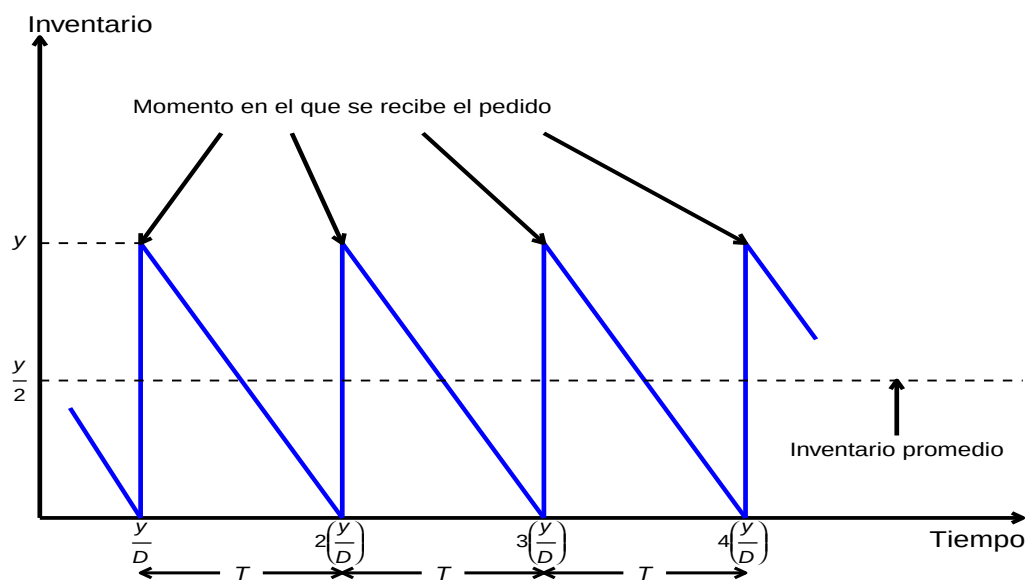
D = Tasa de demanda, expresado en las unidades de medidas sobre el tiempo evaluado.

T = Duración del ciclo de pedido, expresado en el tiempo evaluado desde el momento que se tiene el pedido hasta el siguiente pedido.

Gráficamente se puede observar en la Figura 3 la conducta del modelo clásico de cantidad económica de pedido.

Figura 3

Conducta de inventario en el modelo clásico económica de pedido (EOQ)



Durante los pedidos, se tiene un intervalo de tiempo que comienza con el abastecimiento del pedido y culmina en el punto en el que se recibe el siguiente abastecimiento del pedido, por tanto se tiene la siguiente relación

$$T = \frac{y}{D} \quad (2.21)$$

Para el modelo de costos del modelo EOQ se requieren dos parámetros esenciales

K = Costo de preparación del pedido

h = Costo de retención

El nivel de inventario promedio (NIP) que se mide en unidades sobre el tiempo se encuentra expresado de la siguiente forma:

$$NIP = \frac{y}{2} \quad (2.22)$$

El costo de almacenamiento por unidad de tiempo (CAT) estaría en función del costo de almacenamiento h por el nivel promedio de inventario (NIP) expresado en la ecuación (2.22):

$$\begin{aligned} CAT &= h(NIP) \\ CAT &= h\left(\frac{y}{2}\right) \end{aligned} \quad (2.23)$$

Entonces el costo de almacenamiento por intervalo de tiempo ($CAIT$) vendría a estar expresado como el producto del tiempo entre abastecimientos del producto por el costo de almacenamiento por unidad de tiempo, de la siguiente forma:

$$CAIT = T * CAT$$

Reemplazando los valores por las expresiones (2.21) y (2.23) se tiene la siguiente expresión para el costo de almacenamiento por intervalo de tiempo

$$\begin{aligned} CAIT &= \left(\frac{y}{D}\right) \left[h\left(\frac{y}{2}\right)\right] \\ CAIT &= \frac{hy^2}{2D} \end{aligned} \quad (2.24)$$

Ahora el costo por cada orden realizada o costo por la producción en el intervalo de tiempo (CPT) estaría expresado como:

$$CPT = K + C_y \quad (2.25)$$

De lo que el costo total por intervalo de tiempo (CTT) sería el costo de almacenamiento por

intervalo de tiempo (2.24) más el costo de producción por intervalo de tiempo (2.25)

$$\begin{aligned} CTT &= CAIT + CPT \\ CTT &= \frac{hy^2}{2D} + K + Cy \end{aligned} \quad (2.26)$$

Si al costo total por intervalo de tiempo (CTT) de la expresión (2.26) lo dividimos entre el tiempo T , se tendría el costo total del inventario (CTI)

$$CTI(y) = \frac{CTT}{T} \quad (2.27)$$

Reemplazando por los valores de la ecuación (2.26) y (2.21) se tiene la siguiente expresión para el costo total del inventario del modelo EOQ

$$\begin{aligned} CTI(y) &= \frac{\frac{hy^2}{2D} + K + Cy}{\frac{y}{D}} \\ CTI(y) &= \frac{KD}{y} + DC + \frac{hy}{2} \end{aligned} \quad (2.28)$$

De donde se tiene las siguientes componentes

$\frac{KD}{y}$: Costo de preparación de pedidos expresado como el costo por pedido multiplicado por el número de pedidos.

DC : Costo de aprovisionamiento sirve para satisfacer toda la demanda, ya que no se permiten faltantes. Esta en función del producto entre los costos por unidad y la demanda.

$\frac{hy}{2}$: Costo de almacenamiento por unidad de tiempo (CAT) expresado en (2.23).

Se debe minimizar el costo total de inventario $CTI(y)$, en la ecuación (2.28) se observa que el $CTI(y)$ esta en función del costo por ordenar y el costo por almacenar. En todo caso se tiene que minimizar la suma del costo por ordenar y el costo por almacenar, de tal forma que se minimice el costo total de inventario. El valor óptimo de cuanto pedir “ y ” es minimizando el $CTI(y)$ mediante la derivación e igualando a cero teniendo como se demostró en el Teorema 2,2,2:

$$\begin{aligned}
\frac{dCTI(y)}{dy} &= 0 \\
\frac{dCTI(y)}{dy} &= \frac{d}{dy} \left(\frac{KD}{y} + DC + \frac{hy}{2} \right) = 0 \\
\frac{dCTI(y)}{dy} &= -\frac{KD}{y^2} + \frac{h}{2} = 0
\end{aligned} \tag{2.29}$$

Despejando “y” en la ecuación (2.29) se obtiene la cantidad de pedido óptima y^* de la siguiente manera

$$\begin{aligned}
\frac{h}{2} &= \frac{KD}{y^2} \\
y^2 &= \frac{2KD}{h} \\
y &= \pm \sqrt{\frac{2KD}{h}} \quad (\text{solo se considera la parte positiva}) \\
y^* &= \sqrt{\frac{2KD}{h}}
\end{aligned} \tag{2.30}$$

Asimismo la cantidad de pedido es mínima mediante la prueba de la segunda derivada.

$$\begin{aligned}
\frac{d^2CTI(y)}{dy^2} &= \frac{d^2}{dy^2} \left(\frac{KD}{y} + DC + \frac{hy}{2} \right) \\
\frac{d^2CTI(y)}{dy^2} &= \frac{2KD}{y^3} \geq 0; \quad \forall y > 0
\end{aligned} \tag{2.31}$$

Ahora tomando la ecuación del ciclo de pedido T (2.21) y la cantidad de pedido óptima y^* (2.30) se tiene la respuesta a cuando pedir o el intervalo de pedido óptimo T^*

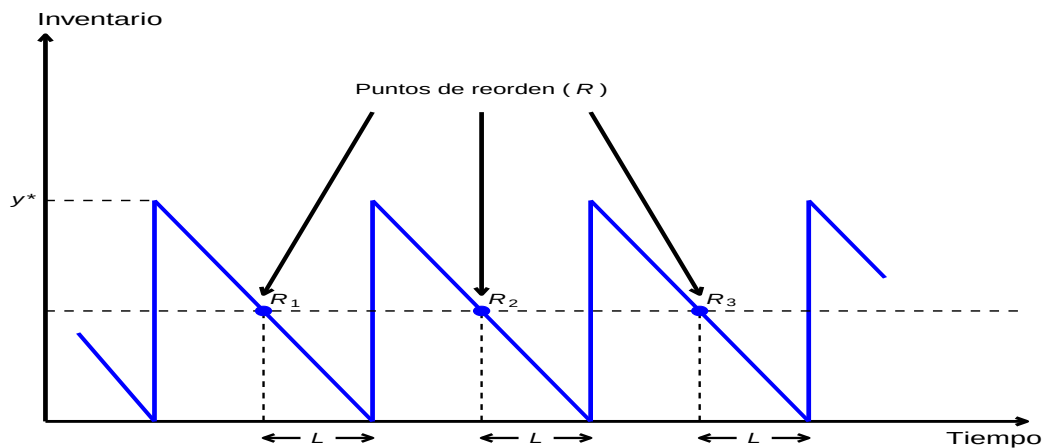
$$\begin{aligned}
T &= \frac{y}{D} \\
T^* &= \frac{y^*}{D} \\
T^* &= \frac{\sqrt{\frac{2KD}{h}}}{D} \\
T^* &= \sqrt{\frac{2K}{Dh}}
\end{aligned} \tag{2.32}$$

De la misma forma tomando la ecuación de costo total de inventario $CTI(y)$ (2.28) reemplazando con los valores de la cantidad de pedido óptima y^* (2.30) se obtiene el costo mínimo total de inventario óptimo $CTI(y^*)$

$$\begin{aligned}
 CTI(y) &= \frac{KD}{y} + DC + \frac{hy}{2} \\
 CTI(y^*) &= \frac{KD}{y^*} + DC + \frac{hy^*}{2} \\
 CTI(y^*) &= \frac{KD}{\sqrt{\frac{2KD}{h}}} + DC + \frac{h \left(\sqrt{\frac{2KD}{h}} \right)}{2} \\
 CTI(y^*) &= KD \sqrt{\frac{h}{2KD}} + DC + \sqrt{\frac{hKD}{2}} \\
 CTI(y^*) &= \sqrt{\frac{hKD}{2}} + DC + \sqrt{\frac{hKD}{2}} \\
 CTI(y^*) &= 2\sqrt{\frac{hKD}{2}} + DC \\
 CTI(y^*) &= \sqrt{2hKD} + DC
 \end{aligned} \tag{2.33}$$

Generalmente los pedidos no llegan en el mismo momento que se hace la solicitud de pedido, lo que sucede es un tiempo de espera o tiempo de entrega, que depende a la frecuencia del tiempo ya sean días o hasta semanas. Por lo cual el inventario de igual forma tiene que estar disponible para la demanda una vez ya realizada el pedido. Entonces la decisión de cuándo ordenar es conocida como punto de reorden (R) esto se observa en la Figura 4.

Figura 4
Punto de reorden (R) del modelo (EOQ)



Donde se observa que el punto de reorden se establece tomando en cuenta los siguientes casos. Sea L el tiempo de entrega, entonces el punto de reorden R es:

- $R = LD$, si $L < T^*$ es decir que la demanda durante el tiempo de entrega es menor a la cantidad óptima y^* , en el cual el punto de reorden es la demanda por el tiempo de entrega.
- $L_e = L - nT^*$, si $L > T^*$ es decir que la demanda durante el tiempo de entrega es mayor que la cantidad óptima y^* , en el cual el pedido debe realizarse en el periodo del pedido anterior. Por lo que el punto de reorden vuelve a ser

$$R = L_e D$$

Por lo cual enunciamos lo siguiente: “Pedir la cantidad y^* siempre que el nivel de inventario se reduzca $L_e D$ unidades”.

2.2.15.2 Modelo clásico de cantidad económica de pedido (EOQ) con descuentos

Algo más general del modelo EOQ es que el precio del producto del inventario varíe con la cantidad que se compre o produzca. Es decir que se puede obtener un descuento si el tamaño del pedido “ y ” excede un límite “ q ” establecido. Por lo cual se tiene un precio unitario de compra “ c ”, expresado de la siguiente manera:

$$c = \begin{cases} c_1, & \text{si } y \leq q \\ c_2, & \text{si } y > q \end{cases}, \quad c_1 > c_2 \quad (2.34)$$

De tal forma que el costo de compra por intervalo de tiempo ($CCIT$) estaría en función del precio unitario de compra “ c ” (2.34) y el tiempo de pedido “ T ” (2.21), quedando de la siguiente manera

$$CCIT = \begin{cases} \frac{c_1 y}{T} = \frac{c_1 y}{\left(\frac{y}{D}\right)} = Dc_1, & y \leq q \\ \frac{c_2 y}{T} = \frac{c_2 y}{\left(\frac{y}{D}\right)} = Dc_2, & y > q \end{cases} \quad (2.35)$$

Asi mismo si aplicamos la notación utilizada con el precio de compra “ c ” (2.34) en (2.28), el costo total de inventario $CTI(y)$ estaría expresado de la siguiente manera

$$CTI(y) = \begin{cases} CTI_1(y) = Dc_1 + \frac{KD}{y} + \frac{hy}{2}, & y \leq q \\ CTI_2(y) = Dc_2 + \frac{KD}{y} + \frac{hy}{2}, & y > q \end{cases} \quad (2.36)$$

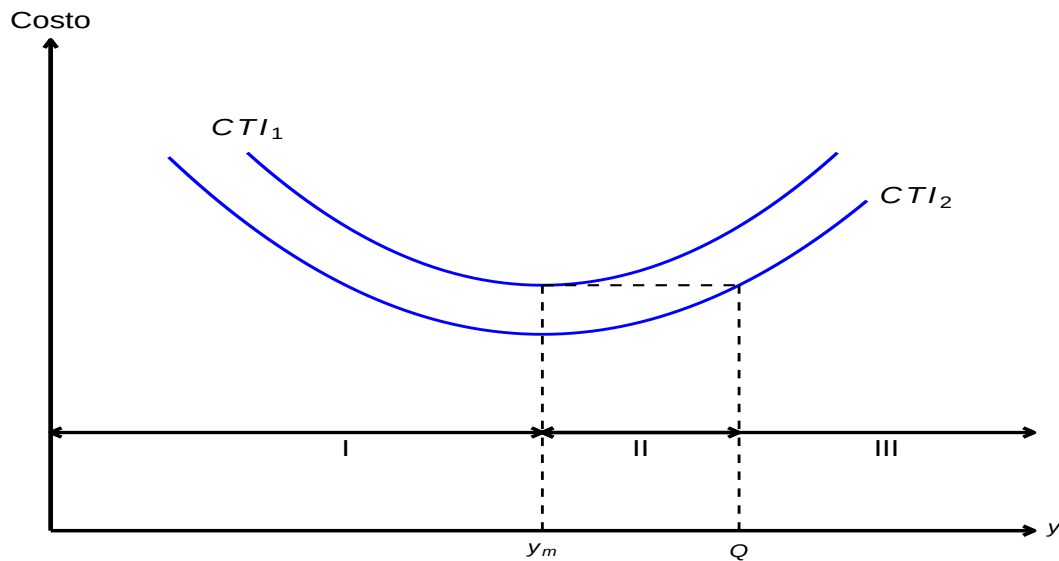
En la ecuación (2.36) se observa que c_i , donde $i = \{1, 2\}$ actúa como constante si es que deseamos minimizar “ y ”, e igualar a cero obteniendo nuestra cantidad de pedido óptima y^* tal como se realizó en la expresión (2.30) y el Teorema (2.2.2). Entonces la cantidad óptima de pedido con descuentos y_m es igual a

$$y_m = \sqrt{\frac{2KD}{h}} \quad (2.37)$$

El costo se ve ilustrado en la Figura 5.

Figura 5

Función de costos de inventario con descuentos en el precio



En donde la determinación de la cantidad de pedido óptima y^* será de acuerdo al punto de discontinuidad de precio q , con respecto a las zonas I, II y III, limitadas por los intervalos:

- **ZONA I:** en el intervalo $(0, y_m)$
- **ZONA II:** en el intervalo (y_m, q)

- **ZONA III:** en el intervalo (Q, ∞)

El valor de $Q(> y_m)$ se determina mediante la siguiente ecuación

$$CTI_2(Q) = CTI_1(Q)$$

Reemplazando $CTI_2(Q)$ por los valores de la expresión (2.36) se tiene

$$\begin{aligned} Dc_2 + \frac{KD}{Q} + \frac{hQ}{2} &= CTI_1(Q) \\ \frac{2QDc_2 + 2KD + hQ^2}{2Q} &= CTI_1(y_m) \\ 2QDc_2 + 2KD + hQ^2 - 2Q[CTI_1(y_m)] &= 0 \end{aligned}$$

A la expresión lo dividimos por el costo de almacenamiento $h \neq 0$ el cual se simplifica en

$$\begin{aligned} \frac{2QDc_2 + 2KD + hQ^2 - 2Q[CTI_1(y_m)]}{h} &= \frac{0}{h} \\ \frac{2QDc_2}{h} + \frac{2KD}{h} + \frac{hQ^2}{h} - \frac{2Q[CTI_1(y_m)]}{h} &= 0 \\ Q^2 + \frac{2QDc_2}{h} - \frac{2Q[CTI_1(y_m)]}{h} + \frac{2KD}{h} &= 0 \\ Q^2 + \left(\frac{2[Dc_2 - CTI_1(y_m)]}{h} \right) Q + \frac{2KD}{h} &= 0 \end{aligned} \quad (2.38)$$

En la Figura 6 se muestra la cantidad óptima deseada y^* en base a la zona que se encuentre q .

En el cual se observa que la cantidad óptima y^* que se busca es

$$y^* = \begin{cases} y_m & , \text{ si } q \text{ se encuentra en las zonas I o III} \\ q & , \text{ si } q \text{ se encuentra en la zona II} \end{cases} \quad (2.39)$$

Los pasos para determinar y^* es

Paso 1: Calcular $y_m = \sqrt{\frac{2KD}{h}}$. Si q se encuentra en la zona I, entonces $y^* = y_m$. Caso contrario ir al paso 2.

Paso 2: Calcular $Q(> y_m)$. a partir de la ecuación (2.38) de Q

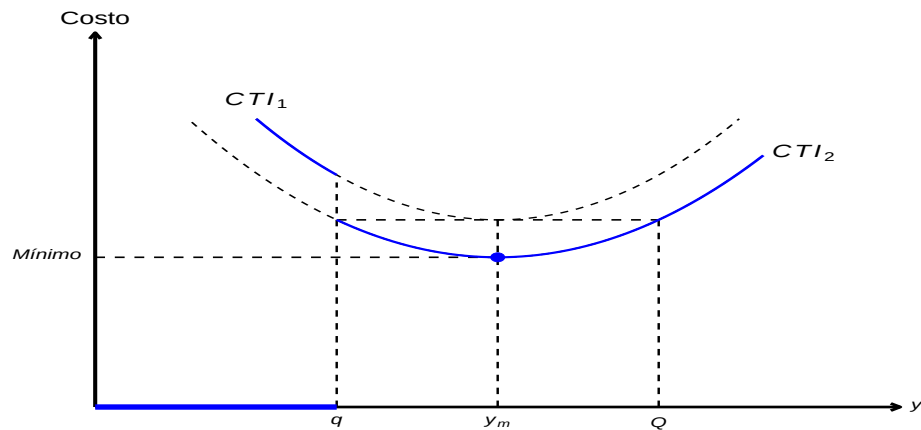
$$Q^2 + \left(\frac{2[Dc_2 - CTI_1(y_m)]}{h} \right) Q + \frac{2KD}{h} = 0$$

Definir las zonas II y III, si q está en la zona II entonces $y^* = q$. En el caso contrario si q está en la zona III entonces $y^* = y_m$

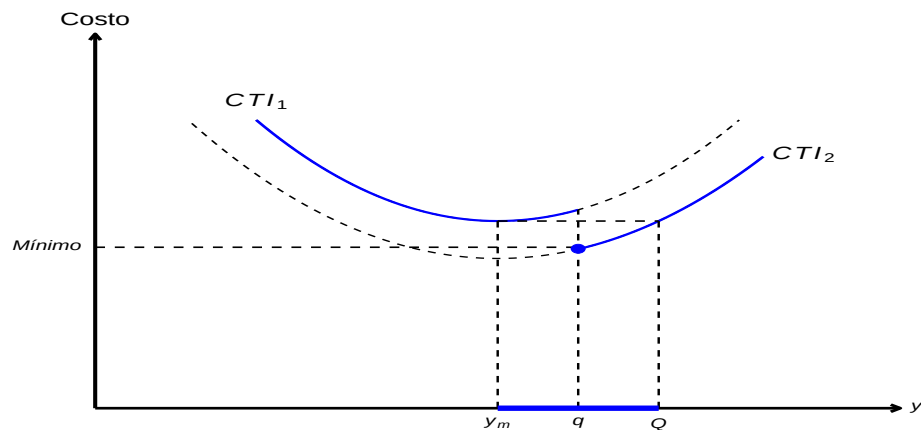
Figura 6

Solución óptima del problema de inventario con descuentos

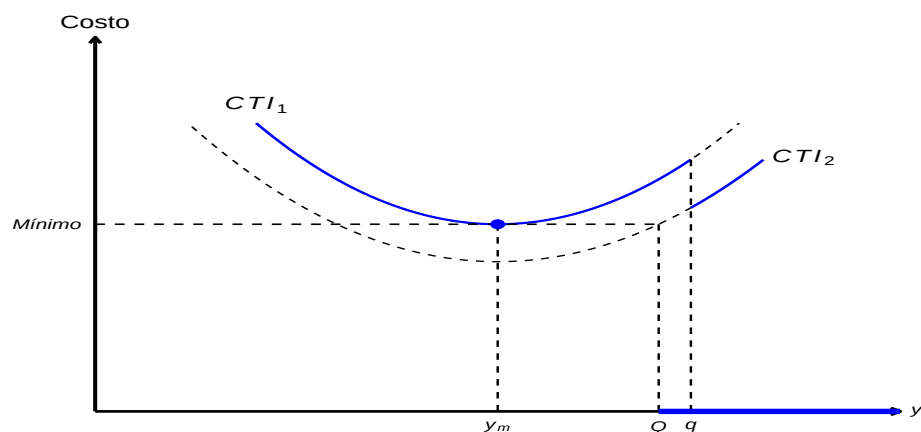
Caso 1: (q) queda dentro de la zona I, $y^* = y_m$



Caso 2: (q) queda dentro de la zona II, $y^* = q$



Caso 3: (q) queda dentro de la zona III, $y^* = y_m$



2.2.15.3 Modelo clásico de cantidad económica de pedido (EOQ) de varios productos con limitación de almacén

En este modelo se considera que cada producto sigue el comportamiento del modelo clásico (EOQ) sin faltantes que se muestra en la Figura 3. Además se consideran que se tiene n productos tal que $n > 1$, entonces además de que los productos se utilizan con una demanda constante, a su vez tienen un espacio de almacenamiento con un límite de capacidad.

Definimos para cada producto i tal que $i = 1, 2, \dots, n$ sus respectivos

D_i = Tasa de demanda del producto i .

K_i = Costo de preparación del producto i .

h_i = Costo de retención del producto i .

y_i = Cantidad de pedido del producto i .

a_i = Espacio de almacenamiento para el producto i .

A = Espacio de almacenamiento disponible para los n productos.

Al igual que el modelo (EOQ) para cada producto i en el que $i = 1, \dots, n$ hallamos la duración del ciclo de pedido mediante la expresión (2.21) quedando de la siguiente manera

$$T_i = \frac{y_i}{D_i} \quad (2.40)$$

Cantidad de pedido óptima y^* de la expresión (2.30) para cada producto i

$$y_i^* = \sqrt{\frac{2K_i D_i}{h_i}} \quad (2.41)$$

De igual forma para obtener el costo total de inventario $CTI(y)$ que se observa en la ecuación (2.28)

$$CTI(y) = \frac{KD}{y} + DC + \frac{hy}{2}$$

Para cada producto i se borra el costo fijo DC de donde C es el costo por unidad del producto, ya que este no es el mismo al costo total al variar por producto, de tal forma que para cada producto el costo mínimo total quedaría de la siguiente forma:

$$CTI(y_i) = \frac{K_i D_i}{y_i} + \frac{h_i y_i}{2} \quad (2.42)$$

Y el costo mínimo total estaría dado por la siguiente función

$$\begin{aligned} CTI(y_1, y_2, \dots, y_n) &= CTI(y_1) + CTI(y_2) + \dots + CTI(y_n) \\ CTI(y_1, y_2, \dots, y_n) &= \left(\frac{K_1 D_1}{y_1} + \frac{h_1 y_1}{2} \right) + \left(\frac{K_2 D_2}{y_2} + \frac{h_2 y_2}{2} \right) + \dots + \left(\frac{K_n D_n}{y_n} + \frac{h_n y_n}{2} \right) \\ CTI(y_1, y_2, \dots, y_n) &= \sum_{i=1}^n \left(\frac{K_i D_i}{y_i} + \frac{h_i y_i}{2} \right) \end{aligned} \quad (2.43)$$

Tomando en cuenta de que el modelo no va a tener faltantes, el modelo matemático que exprese el inventario vendría a ser

$$\text{Minimizar } CTI(y_1, y_2, \dots, y_n) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{K_i D_i}{y_i} + \frac{h_i y_i}{2} \right)$$

Sujeto a

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n a_i y_i &\leq A \\ y_i &> 0, i = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

Primeramente se debe abordar el caso no restringido

$$y_i^* = \sqrt{\frac{2K_i D_i}{h_i}}, i = 1, 2, \dots, n$$

Si la solución satisface la restricción, entonces el proceso termina. Caso contrario la restricción debe ser activada, uno de los métodos de activación es el método clásico de Lagrange (2.2.1).

Entonces el lagrangiano de la función es:

$$\begin{aligned}
L(\lambda, y_1, y_2, \dots, y_n) &= CTI(y_1, y_2, \dots, y_n) - \lambda \left(\sum_{i=1}^n a_i y_i - A \right) \\
L(\lambda, y_1, y_2, \dots, y_n) &= \sum_{i=1}^n \left(\frac{K_i D_i}{y_i} + \frac{h_i y_i}{2} \right) - \lambda \left(\sum_{i=1}^n a_i y_i - A \right)
\end{aligned} \tag{2.44}$$

En donde $\lambda < 0$ es el multiplicador de Lagrange, asimismo la función de Lagrange es convexa, los valores óptimos de y_i y λ que minimizan a (2.44) se determina resolviendo el sistema

$$\frac{\partial L}{\partial y_i} = \frac{\partial}{\partial y_i} \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{K_i D_i}{y_i} + \frac{h_i y_i}{2} \right) - \lambda \left(\sum_{i=1}^n a_i y_i - A \right) \right] = 0 \tag{2.45}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = \frac{\partial}{\partial \lambda} \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{K_i D_i}{y_i} + \frac{h_i y_i}{2} \right) - \lambda \left(\sum_{i=1}^n a_i y_i - A \right) \right] = 0 \tag{2.46}$$

De lo que resolviendo la primera derivada parcial (2.45) se tiene la siguiente expresión

$$\frac{\partial L}{\partial y_i} = -\frac{K_i D_i}{y_i^2} + \frac{h_i}{2} - \lambda a_i$$

Esta expresión igualamos a cero y hallamos la cantidad de pedido óptimo y_i^*

$$\begin{aligned}
-\frac{K_i D_i}{y_i^2} + \frac{h_i}{2} - \lambda a_i &= 0 \\
\frac{K_i D_i}{y_i^2} &= \frac{h_i}{2} - \lambda a_i \\
\frac{K_i D_i}{y_i^2} &= \frac{h_i - 2\lambda a_i}{2} \\
2K_i D_i &= y_i^2 (h_i - 2\lambda a_i) \\
y_i^2 &= \frac{2K_i D_i}{h_i - 2\lambda a_i} \\
y_i &= \pm \sqrt{\frac{2K_i D_i}{h_i - 2\lambda a_i}} \quad (\text{solo se considera la parte positiva}) \\
y_i^* &= \sqrt{\frac{2K_i D_i}{h_i - 2\lambda a_i}}
\end{aligned} \tag{2.47}$$

De igual forma resolviendo la derivada parcial (2.46) se tiene la siguiente expresión

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = A - \sum_{i=1}^n a_i y_i$$

Ahora igualando a cero y reemplazando y_i por el valor de y_i^* de (2.47) se tiene

$$\begin{aligned} A - \sum_{i=1}^n a_i y_i &= 0 \\ A - \sum_{i=1}^n a_i \sqrt{\frac{2K_i D_i}{h_i - 2\lambda a_i}} &= 0 \end{aligned} \quad (2.48)$$

Si $\lambda = 0$ en la expresión (2.47) se tiene la cantidad de pedido óptima y^* igual a (2.41), por lo que se debe tener un valor de $\lambda < 0$ para que cumpla la igualdad de (2.48) si no es así se vuelve a repetir el proceso asignando otro valor negativo λ hasta lograr una aproximación a la igualdad (2.48).

2.2.15.4 Modelo clásico de cantidad económica de pedido (EOQ) con escasez

Uno de los problemas más grandes que se tienen en los modelos de inventarios son los faltantes, que es cuando la demanda no se satisface y genera retrasos, esto es debido a que el inventario agoto los productos en existencia hasta volver a reabastecerse, los casos en donde se permiten estos faltantes es cuando el cliente acepta este retraso si es necesario, donde se toma el riesgo de la pérdida del cliente o la caída del negocio. Este modelo toma en consideración estos casos extendiendo el modelo clásico (EOQ) que se observa en la Figura 3 donde:

S = Nivel del inventario después de recibir y unidades.

$y - S$ = Escasez del inventario antes de recibir y unidades.

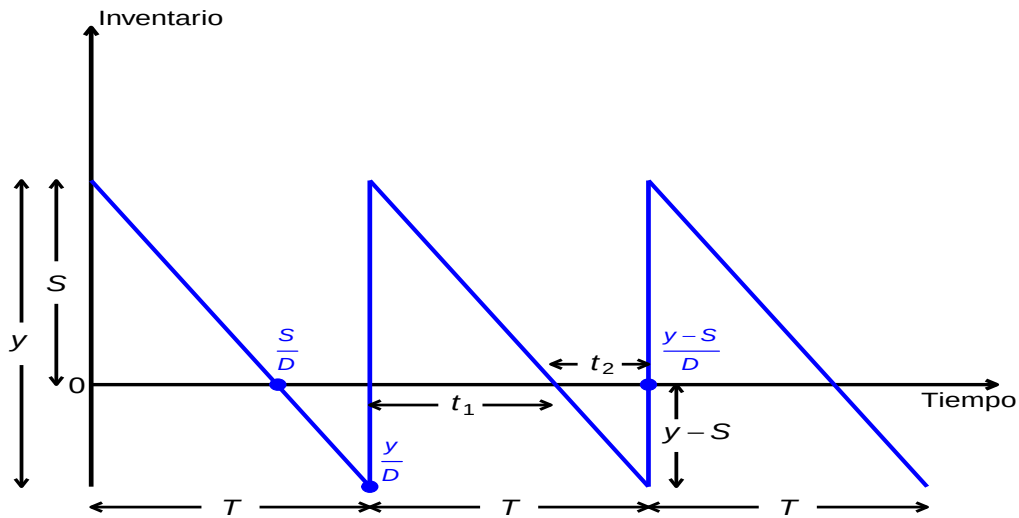
t_1 = Intervalo de tiempo en el cual el inventario no es negativo y satisface la demanda.

t_2 = Intervalo de tiempo en el cual el inventario es negativo y no satisface la demanda.

El comportamiento del modelo clásico de cantidad económica de pedido con escasez se observa en la Figura 7.

Figura 7

Modelo clásico económica de pedido (EOQ) con demanda diferida



En la cual por semejanza de triángulos podemos hallar el intervalo de tiempo que satisface la demanda:

$$\frac{t_1}{T} = \frac{S}{y}$$
$$t_1 = \frac{S}{y}T$$

A esta expresión reemplazemos el valor T de (2.21)

$$t_1 = \frac{S}{y} \left(\frac{y}{D} \right)$$
$$t_1 = \frac{S}{D} \quad (2.49)$$

De igual forma por semejanza de triángulos hallamos el intervalo en donde no se satisface la demanda:

$$\frac{t_2}{T} = \frac{y-S}{y}$$
$$t_2 = \frac{y-S}{y}(T)$$

De la misma forma reemplazamos T de (2.21)

$$\begin{aligned} t_2 &= \frac{y - S}{y} \left(\frac{y}{D} \right) \\ t_2 &= \frac{y - S}{D} \end{aligned} \quad (2.50)$$

Como se vieron en los anteriores casos para sacar el costo total del inventario $CTI(y)$ se tienen que tomar en cuenta el costo por producción en el intervalo de tiempo (CPT) enunciada en la expresión (2.25). El costo de almacenamiento por intervalo de tiempo ($CAIT$) se da solo en el tiempo $\frac{S}{D}$ por lo que extendiendo la expresión (2.24) reemplazando “ y ” por S se tiene la siguiente expresión

$$CAIT = \frac{hS^2}{2D} \quad (2.51)$$

Ahora el déficit del inventario ocurre en un intervalo de tiempo $\frac{y-S}{D}$ en donde se tiene un costo de escasez “ p ”, de la misma analogía que (2.24) se tiene la siguiente expresión para el costo de escasez por intervalo de tiempo (CET)

$$CET = \frac{p(y - S)^2}{2D} \quad (2.52)$$

De lo que el costo total por intervalo de tiempo (CTT) estaría en función de la adición del costo de almacenamiento ($CAIT$), el costo de producción (CPT) y el costo por escasez (CET) por intervalo de tiempo

$$CTT = CPT + CAIT + CET \quad (2.53)$$

Reemplazando los valores (CPT), ($CAIT$) y (CET) por las expresiones (2.25), (2.51) y (2.52) respectivamente se tiene la siguiente expresión

$$CTT = K + Cy + \frac{hS^2}{2D} + \frac{p(y - S)^2}{2D} \quad (2.54)$$

De la misma forma que se realizó en (2.27) dividimos el (CTT) por el tiempo (T), y reemplazando T por la expresión (2.21), se tiene el costo total del inventario del modelo con demanda

diferida.

$$\begin{aligned}
CTI(y) &= \frac{CTT}{T} \\
CTI(y) &= \frac{K + Cy + \frac{hS^2}{2D} + \frac{p(y-S)^2}{2D}}{T} \\
CTI(y) &= \frac{K + Cy + \frac{hS^2}{2D} + \frac{p(y-S)^2}{2D}}{\frac{y}{D}} \\
CTI(y) &= \frac{\frac{2DK + 2DCy + hS^2 + p(y-S)^2}{2D}}{\frac{y}{D}} \\
CTI(y) &= \frac{2DK + 2DCy + hS^2 + p(y-S)^2}{2y} \\
CTI(y) &= \frac{DK}{y} + DC + \frac{hS^2}{2y} + \frac{p(y-S)^2}{2y} \tag{2.55}
\end{aligned}$$

Para este caso en la expresión (2.55) se tienen dos variables de decisión “S” y “y”, en lo cual para encontrar los valores óptimos S^* y y^* se halla el vector gradiente $\nabla CTI(y)$ con las respectivas derivadas parciales e igualando a cero, teniendo el siguiente sistema

$$\frac{\partial CTI(y)}{\partial S} = \frac{\partial}{\partial S} \left[\frac{DK}{y} + DC + \frac{hS^2}{2y} + \frac{p(y-S)^2}{2y} \right] = 0 \tag{2.56}$$

$$\frac{\partial CTI(y)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{DK}{y} + DC + \frac{hS^2}{2y} + \frac{p(y-S)^2}{2y} \right] = 0 \tag{2.57}$$

Resolviendo (2.56) se tiene que:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial CTI(y)}{\partial S} &= \frac{\partial}{\partial S} \left[\frac{DK}{y} + DC + \frac{hS^2}{2y} + \frac{p(y-S)^2}{2y} \right] \\
\frac{\partial CTI(y)}{\partial S} &= \frac{2hS}{2y} + \frac{2p(y-S)(-1)}{2y} \\
\frac{\partial CTI(y)}{\partial S} &= \frac{hS}{y} - \frac{p(y-S)}{y} \tag{2.58}
\end{aligned}$$

Ahora igualando (2.58) a cero se tiene el valor para S

$$\begin{aligned}
\frac{hS}{y} - \frac{p(y-S)}{y} &= 0 \\
\frac{hS - p(y-S)}{y} &= 0 \\
hS &= p(y-S) \\
hS &= py - pS \\
hS + pS &= py \\
S(h+p) &= py \\
S &= \frac{py}{h+p}
\end{aligned} \tag{2.59}$$

De la misma forma resolviendo (2.57) se tiene que:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial CTI(y)}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{DK}{y} + DC + \frac{hS^2}{2y} + \frac{p(y-S)^2}{2y} \right] \\
\frac{\partial CTI(y)}{\partial y} &= -\frac{DK}{y^2} - \frac{hS^2}{2y^2} + \frac{2y[2p(y-S)] - [p(y-S)^2]2}{4y^2} \\
\frac{\partial CTI(y)}{\partial y} &= -\frac{DK}{y^2} - \frac{hS^2}{2y^2} + \frac{4py(y-S) - 2p(y-S)^2}{4y^2} \\
\frac{\partial CTI(y)}{\partial y} &= -\frac{DK}{y^2} - \frac{hS^2}{2y^2} + \frac{2p(y-S)(2y - (y-S))}{4y^2} \\
\frac{\partial CTI(y)}{\partial y} &= -\frac{DK}{y^2} - \frac{hS^2}{2y^2} + \frac{2p(y-S)(y+S)}{4y^2} \\
\frac{\partial CTI(y)}{\partial y} &= -\frac{DK}{y^2} - \frac{hS^2}{2y^2} + \frac{p(y^2 - S^2)}{2y^2} \\
\frac{\partial CTI(y)}{\partial y} &= -\frac{DK}{y^2} - \frac{hS^2}{2y^2} + \frac{py^2 - pS^2}{2y^2} \\
\frac{\partial CTI(y)}{\partial y} &= -\frac{DK}{y^2} - \frac{hS^2}{2y^2} + \frac{py^2}{2y^2} - \frac{pS^2}{2y^2} \\
\frac{\partial CTI(y)}{\partial y} &= -\frac{DK}{y^2} + \frac{p}{2} - \frac{hS^2}{2y^2} - \frac{pS^2}{2y^2} \\
\frac{\partial CTI(y)}{\partial y} &= -\frac{DK}{y^2} + \frac{p}{2} - \frac{(h+p)}{2y^2} S^2
\end{aligned} \tag{2.60}$$

Ahora igualando (2.60) a cero y reemplazando S por el valor de (2.59) se tiene el valor para la cantidad de pedido óptima y^*

$$\begin{aligned}
-\frac{DK}{y^2} + \frac{p}{2} - \frac{(h+p)}{2y^2} S^2 &= 0 \\
-\frac{DK}{y^2} + \frac{p}{2} - \frac{(h+p)}{2y^2} \left(\frac{py}{h+p} \right)^2 &= 0 \\
-\frac{DK}{y^2} + \frac{p}{2} - \frac{p^2}{2(h+p)} &= 0 \\
-\frac{DK}{y^2} + \frac{p(h+p) - p^2}{2(h+p)} &= 0 \\
-\frac{DK}{y^2} + \frac{ph}{2(h+p)} &= 0 \\
y^2 &= \frac{2(h+p)DK}{ph} \\
y^2 &= \left(\frac{2DK}{h} \right) \left(\frac{h+p}{p} \right) \\
y &= \pm \sqrt{\left(\frac{2DK}{h} \right) \left(\frac{h+p}{p} \right)} \quad (\text{solo se considera la parte positiva}) \\
y^* &= \sqrt{\frac{2DK}{h}} \sqrt{\frac{h+p}{p}}
\end{aligned} \tag{2.61}$$

De la misma forma reemplazamos y^* de (2.61) en (2.59) para obtener el nivel de inventario óptimo (S^*) para recibir las cantidades de pedido óptimas.

$$\begin{aligned}
S^* &= \frac{py^*}{h+p} \\
S^* &= \left(\frac{p}{h+p} \right) \sqrt{\frac{2DK}{h}} \sqrt{\frac{h+p}{p}} \\
S^* &= \sqrt{\frac{(p^2)(2DK)(h+p)}{(h+p)^2 hp}} \\
S^* &= \sqrt{\frac{2DKp}{h(h+p)}} \\
S^* &= \sqrt{\frac{2DK}{h}} \sqrt{\frac{p}{h+p}}
\end{aligned} \tag{2.62}$$

El tiempo de ciclo en cada pedido óptimo (T^*) estaría expresado en base a (2.21) reemplazando por el valor de y por y^* de (2.61)

$$\begin{aligned}
T^* &= \frac{y^*}{D} \\
T^* &= \frac{1}{D} \sqrt{\frac{2DK}{h}} \sqrt{\frac{h+p}{p}} \\
T^* &= \sqrt{\frac{2DK(h+p)}{D^2hp}} \\
T^* &= \sqrt{\frac{2K}{Dh}} \sqrt{\frac{(h+p)}{p}}
\end{aligned} \tag{2.63}$$

La escasez del inventario óptima ($y^* - S^*$) antes de recibir las y^* unidades estaría en función de reemplazar y por (2.61) y S por (2.62)

$$\begin{aligned}
y^* - S^* &= \sqrt{\frac{2DK}{h}} \sqrt{\frac{h+p}{p}} - \sqrt{\frac{2DK}{h}} \sqrt{\frac{p}{h+p}} \\
y^* - S^* &= \sqrt{\frac{2DK}{h}} \left(\sqrt{\frac{h+p}{p}} - \sqrt{\frac{p}{h+p}} \right) \\
y^* - S^* &= \sqrt{\frac{2DK}{h}} \left(\frac{(\sqrt{h+p})^2 - (\sqrt{p})^2}{\sqrt{p(h+p)}} \right) \\
y^* - S^* &= \sqrt{\frac{2DK}{h}} \left(\frac{h}{\sqrt{p(h+p)}} \right) \\
y^* - S^* &= \sqrt{\frac{2DKh^2}{hp(h+p)}} \\
y^* - S^* &= \sqrt{\frac{2DK}{p}} \sqrt{\frac{h}{(h+p)}}
\end{aligned} \tag{2.64}$$

Por último, de igual forma hallemos el total de inventario de la expresión (2.55)

$$\begin{aligned}
CTI(y) &= \frac{DK}{y} + DC + \frac{hS^2}{2y} + \frac{p(y-S)^2}{2y} \\
CTI(y) &= \frac{2DK + hS^2 + p(y-S)^2}{2y} + DC \\
CTI(y) &= \frac{2DK + hS^2 + py^2 - 2pyS + pS^2}{2y} + DC \\
CTI(y^*) &= \frac{2DK + (h+p)S^2 + py^2 - 2pyS}{2y} + DC
\end{aligned} \tag{2.65}$$

A la expresión reemplazemos los valores de y y S por los valores de y^* y S^* de las expresiones (2.61) y (2.62) respectivamente en la expresión (2.65) para hallar el costo mínimo total del inventario $CTI(y^*)$

$$\begin{aligned}
CTI(y^*) &= \frac{2DK + (h+p)S^{*2} + py^{*2} - 2py^*S^*}{2y^*} + DC \\
CTI(y^*) &= \frac{2DK + (h+p)\left(\sqrt{\frac{2DK}{h}}\sqrt{\frac{p}{h+p}}\right)^2 + p\left(\sqrt{\frac{2DK}{h}}\sqrt{\frac{h+p}{p}}\right)^2 - 2p\left(\sqrt{\frac{2DK}{h}}\sqrt{\frac{h+p}{p}}\right)\left(\sqrt{\frac{2DK}{h}}\sqrt{\frac{p}{h+p}}\right)}{2\left(\sqrt{\frac{2DK}{h}}\sqrt{\frac{h+p}{p}}\right)} + DC \\
CTI(y^*) &= \frac{2DK + (h+p)\left(\frac{2DKp}{h(h+p)}\right) + p\left(\frac{2DK(h+p)}{hp}\right) - 2p\left(\sqrt{\frac{p(2DK)^2(h+p)}{h^2p(h+p)}}\right)}{2\left(\sqrt{\frac{2DK(h+p)}{hp}}\right)} + DC \\
CTI(y^*) &= \frac{2DK + \frac{2DKp}{h} + \frac{2DK(h+p)}{h} - 2p\left(\frac{2DK}{h}\right)}{2\left(\sqrt{\frac{2DK(h+p)}{hp}}\right)} + DC \\
CTI(y^*) &= \frac{2\left(DK + \frac{DKp}{h} + \frac{DK(h+p)}{h} - \frac{2DKp}{h}\right)}{2\left(\sqrt{\frac{2DK(h+p)}{hp}}\right)} + DC \\
CTI(y^*) &= \frac{\frac{DKh+DKp+DKh+DKp-2DKp}{h}}{\sqrt{\frac{2DK(h+p)}{hp}}} + DC \\
CTI(y^*) &= \frac{\frac{2DKh}{h}}{\sqrt{\frac{2DK(h+p)}{hp}}} + DC \\
CTI(y^*) &= \sqrt{\frac{4D^2K^2h^2hp}{h^22DK(h+p)}} + DC \\
CTI(y^*) &= \sqrt{\frac{2DKhp}{h+p}} + DC \\
CTI(y^*) &= \sqrt{2DKh}\sqrt{\frac{p}{h+p}} + DC
\end{aligned} \tag{2.66}$$

De la misma forma que se realizó en (2.30) para demostrar que el valor es mínimo se realiza la prueba de la segunda derivada a la expresión del costo total de inventario $CTI(y)$ con respecto a “ y ” y “ S ”

$$\begin{aligned}
\frac{d^2CTI(y)}{dy^2} &= \frac{d^2}{dy^2} \left[\frac{DK}{y} + DC + \frac{hS^2}{2y} + \frac{p(y-S)^2}{2y} \right] \\
\frac{d^2CTI(y)}{dy^2} &= \frac{d}{dy} \left(-\frac{DK}{y^2} + \frac{p}{2} - \frac{(h+p)}{2y^2} S^2 \right) \\
\frac{d^2CTI(y)}{dy^2} &= \frac{2KD + (h+p)S^2}{y^3} \geq 0; \quad \forall y
\end{aligned} \tag{2.67}$$

$$\begin{aligned}
\frac{d^2CTI(y)}{dS^2} &= \frac{d^2}{dS^2} \left[\frac{DK}{y} + DC + \frac{hS^2}{2y} + \frac{p(y-S)^2}{2y} \right] \\
\frac{d^2CTI(S)}{dS^2} &= \frac{d}{dS} \left(\frac{hS}{y} - \frac{p(y-S)}{y} \right) \\
\frac{d^2CTI(S)}{dS^2} &= \frac{h+p}{y} \geq 0; \quad \forall S
\end{aligned} \tag{2.68}$$

2.2.16 Modelos de inventario probabilísticos o estocásticos

A diferencia del modelo determinístico presentado en la sección anterior, en este tipo de modelos se analizan los inventarios con un desconocimiento sobre la demanda para los periodos siguientes, aunque estos pueden ser representados como una variable aleatoria que siga una distribución de probabilidad conocida. (Taha, 2012)

Primeramente se explicarán los modelos con revisión continua que tienen dos modelos, la versión probabilística del modelo clásico (EOQ) y el modelo (EOQ) probabilizado que tiene una demanda aleatoria. Seguidamente se explicarán los modelos de revisión periódica como los modelos de un periodo sin costo de preparación, con costo de preparación y los modelos de varios periodos.

2.2.16.1 Modelo probabilizado de cantidad económica de pedido

Son algunos los profesionales que buscaron la forma de adaptar el modelo EOQ determinístico para explicar de manera aproximada la naturaleza probabilística de la demanda. Se tiene un problema de periodo crítico en el ciclo del inventario entre la colocación y recepción de pedidos que pueda ocasionar que no se tengan los productos. Por lo que se toma la idea de tener la probabilidad de tener pocos faltantes y mayores reservas. Donde se tienen las siguientes variables:

B = Cantidad de la existencia de reserva.

L = Tiempo de espera entre la llegada del producto y su siguiente colocación.

x_L = Variable aleatoria de la demanda durante el tiempo de espera L .

μ_L = Media de la demanda en el tiempo de espera L .

σ_L = Desviación estándar de la demanda en el tiempo de espera L .

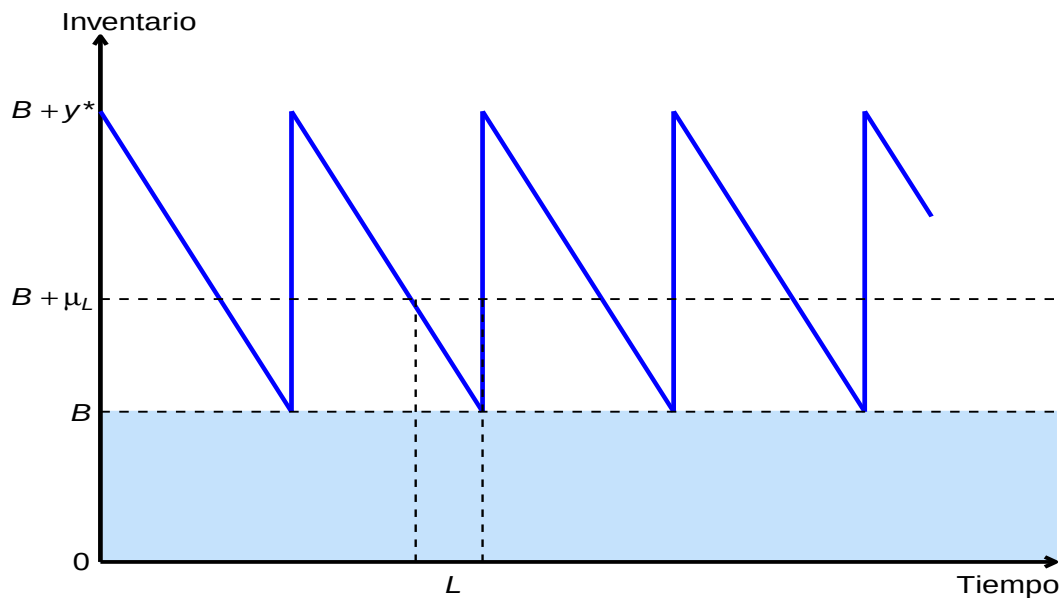
y^* = Cantidad de pedido óptimo del modelo (EOQ).

α = Probabilidad máxima de admitir faltantes durante el tiempo de espera L .

$B + \mu_L$ = Punto de pedido según la media de la demanda y la cantidad de reserva.

La relación del modelo EOQ con respecto a las reservas se muestran en la Figura 8.

Figura 8
Modelo clásico EOQ con existencias de reservas B



La hipótesis planteada del modelo es que la demanda por unidad de tiempo sigue una distribución normal con media D y desviación estándar σ , denotado como $N(D, \sigma)$. Generalizando la definición de distribución normal mostrado en la subsección (2.2.7) expresando la demanda como una variable aleatoria durante un tiempo de espera L , en lo cual debe seguir la distribución

de probabilidad normal con media $\mu_L = DL$ y desviación estándar $\sigma_L = \sqrt{L}\sigma^2$, representado de la siguiente manera $x_L \sim N(\mu_L, \sigma_L)$. La definición de L es la misma del modelo clásico en (2.2.15). La cantidad de existencia de reservas B se determina mediante la probabilidad de faltantes durante L sea a lo máximo α de la siguiente forma:

$$P[x_L \geq B + \mu_L] \leq \alpha \quad (2.69)$$

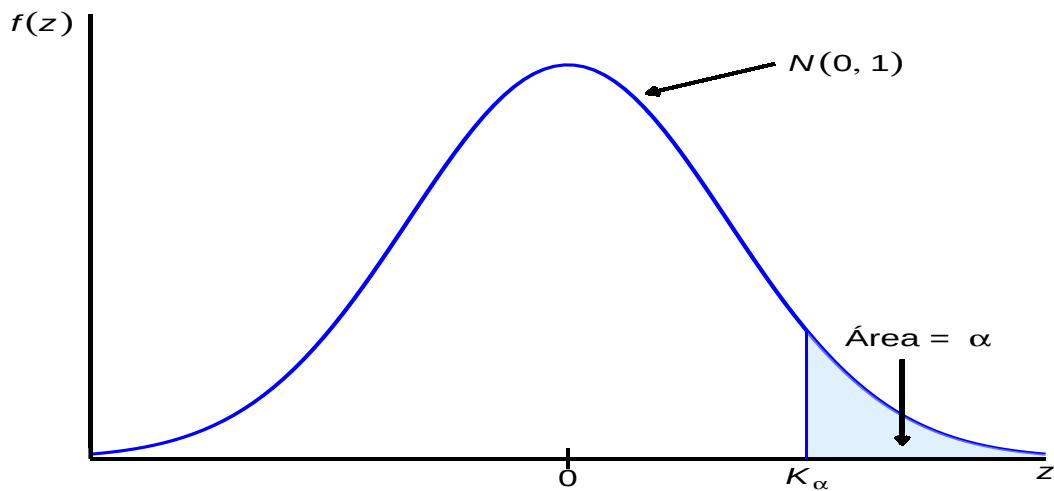
De lo cual a la expresión (2.69) si despejamos con respecto a B y estandarizamos se tiene la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} P[x_L - \mu_L \geq B] &\leq \alpha \\ P\left[\frac{x_L - \mu_L}{\sigma_L} \geq \frac{B}{\sigma_L}\right] &\leq \alpha \\ P\left[z \geq \frac{B}{\sigma_L}\right] &\leq \alpha \end{aligned} \quad (2.70)$$

De (2.70) se tiene que $z = \frac{x_L - \mu_L}{\sigma_L}$ es la estandarización de x_L que sigue una distribución normal estándar $N(0, 1)$. Se define el parámetro K_α para la distribución normal estándar de modo que $P[z \geq k_\alpha] \leq \alpha$ que se observa en la Figura 9.

Figura 9

Probabilidad de que se agoten las reservas $P[z \leq K_\alpha] = \alpha$



Por lo que el tamaño de reserva debe satisfacer la siguiente desigualdad

$$B \leq \sigma_L K_\alpha \quad (2.71)$$

En el cual de (2.71) se tiene que $\sigma_L K_\alpha$ proporciona el valor mínimo de B y se requiere que L sea un valor entero ya sea por el valor exacto o redondeando el valor.

2.2.16.2 Modelo cantidad de pedido económica (EOQ) probabilístico

El modelo probabilizado EOQ visto en la anterior sección no hace verosímil la producción de una política óptima, ya que se ignora el hecho de que la demanda tenga un comportamiento probabilístico. Por lo cual el modelo de cantidad de pedido económica (EOQ) probabilístico toma en cuenta el comportamiento probabilístico de la demanda. De igual forma la política del inventario establece en realizar el pedido de “y” cantidades cuando el inventario llegue al punto de reorden “R” que al igual que en el modelo determinístico tiene un tiempo entre el pedido y la recepción del pedido. Para encontrar los valores óptimos de “y” y “R” se debe minimizar la suma esperada de los costos de retención y los costos de faltantes por unidad de tiempo. El modelo toma en cuenta tres suposiciones:

1. La demanda que no se satisface en el ciclo de espera se guardan o almacenan.
2. No se debe permitir más de un pedido pendiente.
3. La distribución de la demanda en el ciclo de espera es estacionaria con el tiempo.

Asimismo la función de costo total por unidad de tiempo se toman en cuenta las siguientes variables:

$f(x)$ = Función de densidad de probabilidad de la demanda “x” durante el ciclo de espera.

D = Demanda esperada por unidad de tiempo.

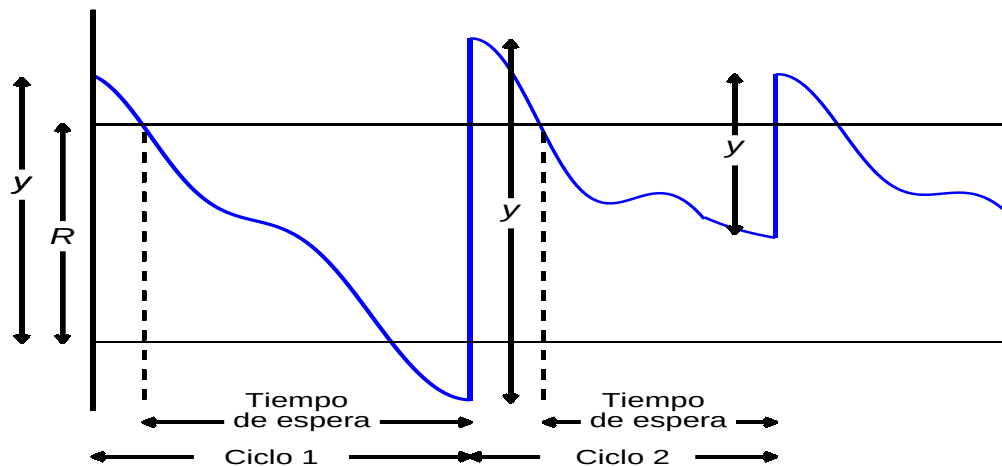
h = Costo de retención o almacenamiento del inventario por unidad de tiempo.

p = Costo por escasez o faltante del inventario.

K = Costo de preparación del pedido.

Figura 10

Modelo de inventario probabilístico con faltante



El comportamiento del modelo se puede observar en la Figura 10. En el cual se observan que en los ciclos pueden ocurrir o no faltantes (tal vez con un comportamiento aleatorio), como en el ciclo 1 y 2 de la Figura 10. Con estas variables se determinan los elementos de la función de costos

1. **Costo de preparación (CPT):** Es la cantidad aproximada de pedidos por unidad de tiempo es $\frac{D}{y}$, de modo que el costo de preparación por unidad de tiempo es aproximadamente $\frac{KD}{y}$.

$$CPT = \frac{KD}{y} \quad (2.72)$$

2. **Costo de retención esperado (CRE):** Si I es el nivel de inventario promedio, el costo de retención o almacenamiento por unidad de tiempo es " hI ". Para calcular I se toma en cuenta el promedio de los inventarios esperados inicial y final de un ciclo es decir $y + E[R - x]$ y $E[R - x]$ respectivamente de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} I &= \frac{(y + E[R - x]) + E[R - x]}{2} \\ I &= \frac{(y + E[R] - E[x]) + E[R] - E[x]}{2} \\ I &= \frac{y}{2} + 2 \frac{(R - E[x])}{2} \\ I &= \frac{y}{2} + R - E[x] \end{aligned} \quad (2.73)$$

En el cual $R - E[x]$ se ignora que pueda ser negativo, ahora el costo de retención esperado (CRE) estaría en función de h e I de la expresión (2.73) mediante la siguiente forma:

$$\begin{aligned} CRE &= hI \\ CRE &= h \left(\frac{y}{2} + R - E[x] \right) \end{aligned} \quad (2.74)$$

3. **Costo por faltantes esperado:** Los faltantes se dan en el caso que $x > R$. De lo cual tomando en cuenta una función de densidad (2.2.6) su valor esperado en el ciclo se calcula como:

$$S = \int_R^{\infty} (x - R) f(x) dx \quad (2.75)$$

Como el costo por escasez “ p ” es proporcional sólo a la cantidad faltante, el costo esperado por cada ciclo es pS y tomando en cuenta $\frac{D}{y}$ ciclos por unidad de tiempo, el costo de escasez por unidad de tiempo (CET) es:

$$\begin{aligned} CET &= \frac{pS}{T} \\ CET &= \frac{pS}{\frac{y}{D}} \\ CET &= \frac{pDS}{y} \end{aligned} \quad (2.76)$$

De lo cual el costo total del inventario CTI es igual a la suma del costo de preparación (CPT), costo de retención esperado (CRE) y el costo de escasez (CET) por unidad de tiempo de las expresiones (2.72), (2.74) y (2.76) respectivamente. El cual estaría en función de “ y ” y “ R ” de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} CTI(y, R) &= CPT + CRE + CET \\ CTI(y, R) &= \frac{DK}{y} + h \left(\frac{y}{2} + R - E[x] \right) + \frac{pDS}{y} \end{aligned} \quad (2.77)$$

Como se realizó antes las soluciones óptimas de y^* y R^* se determinan mediante las derivadas parciales e igualando a cero la expresión (2.77) mediante las siguientes ecuaciones:

$$\frac{\partial CTI(y, R)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{DK}{y} + h \left(\frac{y}{2} + R - E[x] \right) + \frac{pDS}{y} \right] = 0 \quad (2.78)$$

$$\frac{\partial CTI(y, R)}{\partial R} = \frac{\partial}{\partial R} \left[\frac{DK}{y} + h \left(\frac{y}{2} + R - E[x] \right) + \frac{pDS}{y} \right] = 0 \quad (2.79)$$

De lo que resolviendo la primera derivada parcial (2.78) se tiene la siguiente expresión:

$$\frac{\partial CTI(y, R)}{\partial y} = -\frac{DK}{y^2} + \frac{h}{2} - \frac{pDS}{y^2} = 0$$

Esta expresión igualamos a cero y hallamos la cantidad de pedido óptima y^*

$$\begin{aligned} -\frac{DK}{y^2} + \frac{h}{2} - \frac{pDS}{y^2} &= 0 \\ -2DK + y^2h - 2pDS &= 0 \\ y^2 &= \frac{2D(K + pS)}{h} \\ y &= \pm \sqrt{\frac{2D(K + pS)}{h}} \quad (\text{solo se considera la parte positiva}) \\ y^* &= \sqrt{\frac{2D(K + pS)}{h}} \end{aligned} \quad (2.80)$$

De la misma forma resolviendo (2.79) reemplazamos S por la expresión (2.75) de lo cual se tiene

$$\frac{\partial CTI(y, R)}{\partial R} = \frac{\partial}{\partial R} \left[\frac{DK}{y} + h \left(\frac{y}{2} + R - E[x] \right) + \frac{pD}{y} \int_R^\infty (x - R)f(x)dx \right]$$

Resolviendo la derivada parcial

$$\frac{\partial CTI(y, R)}{\partial R} = h - \frac{pD}{y} \int_R^\infty f(x)dx$$

Ahora igualando a cero

$$\begin{aligned} h - \frac{pD}{y} \int_R^\infty f(x) dx &= 0 \\ \int_R^\infty f(x) dx &= \frac{hy^*}{pD} \end{aligned} \quad (2.81)$$

De lo cual los valores óptimos de y^* y R^* no se hallan en formas cerradas, por lo que se usa un algoritmo numérico, desarrollado por Hadle y Whitin (1963) para hallar las soluciones a las ecuaciones (2.80) y (2.81).

El algoritmo converge en un número finito de iteraciones, siempre que se tenga una solución factible.

Si $R = 0$ en las ecuaciones (2.80) y (2.81) se tiene los siguientes resultados:

$$\begin{aligned} \hat{y} &= \sqrt{\frac{2D(K + pE[x])}{h}} \\ \tilde{y} &= \frac{pD}{h} \end{aligned}$$

De lo cual los valores óptimos de “ y ” y “ R ” existen cuando $\tilde{y} \geq \hat{y}$. Si $S = 0$ el valor mínimo de y^* es $\sqrt{\frac{2KD}{h}}$. Los pasos del algoritmo son:

Paso 0: Use la solución inicial $y_1 = y^* = \sqrt{\frac{2KD}{h}}$, y sea $R_0 = 0$. Establezca $i = 1$ y continúe al paso **i**.

Paso i: Use y_i para determinar R_i a partir de la ecuación (2.81). Si $R_i \approx R_{i-1}$ se detiene el proceso.

La solución óptima es $y^* = y_i$ y $R^* = R_i$. Caso contrario use R_i en la ecuación (2.80) para calcular y_i . Establezca $i = i + 1$ y repetir el paso i .

2.2.16.3 Modelo de un periodo sin preparación

Los modelos de un periodo para un artículo se da cuando se pide una sola vez para satisfacer la demanda del periodo. Cuando culmina el periodo los sobrantes se desechan. En este primer modelo no se tiene un costo de preparación al momento de colocar el pedido de lo cual se tienen las siguientes variables:

De la Figura 11 se tiene que si $D < y$, la cantidad sobrante $y - D$ se mantiene durante el periodo. Caso contrario si $D > y$ se tendrá una cantidad faltante $D - y$ durante el periodo.

Ahora el costo esperado durante el periodo $E[C(y)]$ en función de la demanda estaría expresado para el caso discreto (2.2.5) y continuo (2.2.6) teniendo las siguientes ecuaciones

$$E[C(y)] = h \int_0^y (y - D)f(D)dD + p \int_y^\infty (D - y)f(D)dD \quad (\text{caso continuo}) \quad (2.82)$$

$$E[C(y)] = h \sum_{D=0}^y (y - D)f(D) + p \sum_{D=y+1}^\infty (D - y)f(D) \quad (\text{caso discreto}) \quad (2.83)$$

En lo cual se observa que $E[C(y)]$ en (2.82) y (2.83) son convexos.

Para el caso continuo (2.82) como es convexo en “ y ” tiene un mínimo único. Tomando la primera derivada con respecto a “ y ” se tiene la siguiente expresión

$$\begin{aligned} \frac{dE[C(y)]}{dy} &= \frac{d}{dy} \left[h \int_0^y (y - D)f(D)dD + p \int_y^\infty (D - y)f(D)dD \right] \\ \frac{dE[C(y)]}{dy} &= h \int_0^y f(D)dD - p \int_0^\infty f(D)dD \end{aligned} \quad (2.84)$$

Tomando en cuenta la segunda propiedad de la definición de variable aleatoria continua (2.2.6), se puede realizar la siguiente expresión:

- $P[x \leq X] = \int_0^X f(x)dx$
- $1 - P[x \leq X] = \int_0^\infty f(x)dx$

Reemplazando en la expresión (2.84) se tiene la siguiente igualdad

$$\begin{aligned} \frac{dE[C(y)]}{dy} &= hP[D \leq y] - p(1 - P[D \leq y]) \\ \frac{dE[C(y)]}{dy} &= P[D \leq y](h + p) - p \end{aligned}$$

E igualando a cero se tiene la siguiente igualdad:

$$\begin{aligned} P[D \leq y](h + p) - p &= 0 \\ P[D \leq y^*] &= \frac{p}{h + p} \end{aligned} \quad (2.85)$$

Ahora para el caso discreto (2.83) tomemos en cuenta las siguientes condiciones necesarias de optimalidad

- $E[C(y-1)] \geq E[C(y)]$ y
- $E[C(y+1)] \geq E[C(y)]$

Que son suficientes ya que $E[C(y)]$ es una función convexa, empecemos hallando la expresión para $E[C(y+1)]$ en base a (2.83) quedando de la siguiente manera

$$\begin{aligned}
E[C(y+1)] &= h \sum_{D=0}^{(y+1)} ((y+1) - D)f(D) + p \sum_{D=(y+1)+1}^{\infty} (D - (y+1))f(D) \\
E[C(y+1)] &= h \left[\sum_{D=0}^{y+1} (y+1)f(D) - \sum_{D=0}^{y+1} Df(D) \right] + \\
&\quad p \left[\sum_{D=y+2}^{\infty} (D - y - 1)f(D) \right] \\
E[C(y+1)] &= h \left[(y+1) \left(\sum_{D=0}^y f(D) + f(y+1) \right) - \left(\sum_{D=0}^y Df(D) + (y+1)f(y+1) \right) \right] + \\
&\quad p \left[\sum_{D=y+1}^{\infty} (D - y - 1)f(D) - ((y+1) - y - 1)f(y+1) \right] \\
E[C(y+1)] &= h \left[(y+1) \sum_{D=0}^y f(D) + (y+1)f(y+1) - \sum_{D=0}^y Df(D) - (y+1)f(y+1) \right] + \\
&\quad p \left[\sum_{D=y+1}^{\infty} (D - y - 1)f(D) \right] \\
E[C(y+1)] &= h \left[(y+1) \sum_{D=0}^y f(D) - \sum_{D=0}^y Df(D) \right] + \\
&\quad p \left[\sum_{D=y+1}^{\infty} (D - y - 1)f(D) \right] \\
E[C(y+1)] &= h \left[\sum_{D=0}^y (y+1 - D)f(D) \right] + \\
&\quad p \left[\sum_{D=y+1}^{\infty} (D - y - 1)f(D) \right] \\
E[C(y+1)] &= h \sum_{D=0}^y (y - D)f(D) + h \sum_{D=0}^y f(D) + p \sum_{D=y+1}^{\infty} (D - y)f(D) - p \sum_{D=y+1}^{\infty} f(D)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
E[C(y+1)] &= h \sum_{D=0}^y (y-D)f(D) + p \sum_{D=y+1}^{\infty} (D-y)f(D) + h \sum_{D=0}^y f(D) - p \sum_{D=y+1}^{\infty} f(D) \\
E[C(y+1)] &= E[C(y)] + h \sum_{D=0}^y f(D) - p \sum_{D=y+1}^{\infty} f(D)
\end{aligned} \tag{2.86}$$

Por la segunda satisfacción de la definición (2.2.10) de variable aleatoria discreta (2.2.5) se tiene la siguiente igualdad:

$$\begin{aligned}
\sum_{D=0}^y f(D) + \sum_{D=y+1}^{\infty} f(D) &= 1 \\
\sum_{D=y+1}^{\infty} f(D) &= 1 - \sum_{D=0}^y f(D)
\end{aligned}$$

Reemplazando esta igualdad en la expresión (2.86) obtenemos lo siguiente

$$\begin{aligned}
E[C(y+1)] &= E[C(y)] + h \sum_{D=0}^y f(D) - p \left(1 - \sum_{D=0}^y f(D) \right) \\
E[C(y+1)] - E[C(y)] &= h \sum_{D=0}^y f(D) - p + p \sum_{D=0}^y f(D) \\
E[C(y+1)] - E[C(y)] &= (h+p) \sum_{D=0}^y f(D) - p \\
E[C(y+1)] - E[C(y)] &= (h+p)P[D \leq y] - p
\end{aligned} \tag{2.87}$$

De la misma forma ahora hallando la expresión para $E[C(y-1)]$ en base a (2.83) se tiene

$$\begin{aligned}
E[C(y-1)] &= h \sum_{D=0}^{(y-1)} ((y-1)-D)f(D) + p \sum_{D=(y-1)+1}^{\infty} (D-(y-1))f(D) \\
E[C(y-1)] &= h \sum_{D=0}^{y-1} (y-D)f(D) - h \sum_{D=0}^{y-1} f(D) + p \sum_{D=y}^{\infty} (D-y)f(D) + p \sum_{D=y}^{\infty} f(D) \\
E[C(y-1)] &= h \left[\sum_{D=0}^y (y-D)f(D) - (y-y)f(y) \right] - h \sum_{D=0}^{y-1} f(D) \\
&\quad + p \left[\sum_{D=y+1}^{\infty} (D-y)f(D) + (y-y)f(y) \right] + p \sum_{D=y}^{\infty} f(D) \\
E[C(y-1)] &= h \sum_{D=0}^y (y-D)f(D) - h \sum_{D=0}^{y-1} f(D) + p \sum_{D=y+1}^{\infty} (D-y)f(D) + p \sum_{D=y}^{\infty} f(D)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
E[C(y-1)] &= h \sum_{D=0}^y (y-D)f(D) + p \sum_{D=y+1}^{\infty} (D-y)f(D) - h \sum_{D=0}^{y-1} f(D) + p \sum_{D=y}^{\infty} f(D) \\
E[C(y-1)] &= E[C(y)] - h \sum_{D=0}^{y-1} f(D) + p \sum_{D=y}^{\infty} f(D)
\end{aligned} \tag{2.88}$$

De la misma forma por la definición (2.2.10) de variable aleatoria discreta (2.2.5) se tiene la siguiente igualdad:

$$\begin{aligned}
\sum_{D=0}^{y-1} f(D) + \sum_{D=y}^{\infty} f(D) &= 1 \\
\sum_{D=y}^{\infty} f(D) &= 1 - \sum_{D=0}^{y-1} f(D)
\end{aligned}$$

Reemplazando esta igualdad en la expresión (2.88) obtenemos lo siguiente

$$\begin{aligned}
E[C(y-1)] &= E[C(y)] - h \sum_{D=0}^{y-1} f(D) + p \left(1 - \sum_{D=0}^{y-1} f(D) \right) \\
E[C(y-1)] - E[C(y)] &= -h \sum_{D=0}^{y-1} f(D) + p - p \sum_{D=0}^{y-1} f(D) \\
E[C(y-1)] - E[C(y)] &= -(h+p) \sum_{D=0}^{y-1} f(D) + p \\
E[C(y-1)] - E[C(y)] &= -(h+p)P[D \leq y-1] + p
\end{aligned} \tag{2.89}$$

En lo cual tomando la primera condición de optimalidad $E[C(y-1)] \geq E[C(y)]$ y reemplazando por los valores de (2.89) se tiene la siguiente desigualdad

$$\begin{aligned}
E[C(y-1)] &\geq E[C(y)] \\
E[C(y-1)] - E[C(y)] &\geq 0 \\
-(h+p)P[D \leq y-1] + p &\geq 0 \\
(h+p)P[D \leq y-1] - p &\leq 0 \\
P[D \leq y-1] &\leq \frac{p}{h+p}
\end{aligned} \tag{2.90}$$

Tomando la segunda condición de optimalidad $E[C(y+1)] \geq E[C(y)]$ y reemplazando por

los valores de (2.87) se tiene la siguiente desigualdad

$$\begin{aligned}
E[C(y+1)] &\geq E[C(y)] \\
E[C(y+1)] - E[C(y)] &\geq 0 \\
(h+s)P[D \leq y] - p &\geq 0 \\
P[D \leq y] &\geq \frac{p}{h+p}
\end{aligned} \tag{2.91}$$

Ahora tomando las expresiones (2.90) y (2.91) se tiene la siguiente desigualdad

$$P[D \leq y^* - 1] \leq \frac{p}{h+p} \leq P[D \leq y^*] \tag{2.92}$$

2.2.16.4 Modelo de un periodo con costos de preparación

Siendo igual que el modelo anterior de un periodo sin costos de preparación, en este modelo se incide el costo de preparación denotado por K . Entonces tomando en cuenta la expresión (2.82) y le adjuntamos el costo de preparación, se tiene la siguiente expresión para el costo esperado durante el periodo $E[\bar{C}(y)]$:

$$\begin{aligned}
E[\bar{C}(y)] &= K + E[C(y)] \\
E[\bar{C}(y)] &= K + h \int_0^y (y-D)f(D)dD + p \int_y^\infty (D-y)f(D)dD
\end{aligned} \tag{2.93}$$

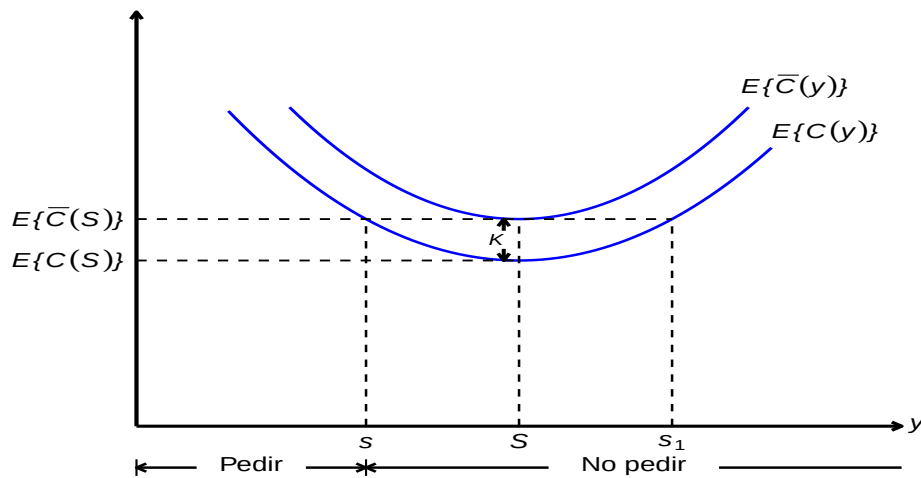
De la misma manera el valor óptimo y^* de la expresión (2.85) se debe satisfacer lo siguiente

$$P[y \leq y^*] = \frac{p}{h+p} \tag{2.94}$$

Tomando a K como una constante el valor mínimo de $E[\bar{C}(y)]$ ocurre también en y^* . La política de pedido óptima se observa en la Figura 12.

Figura 12

Política de pedido óptima $(s-S)$ del modelo de un solo periodo con costo de preparación



En el cual se observa que si $S = y^*$ y el valor de $s < S$ se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} E[C(s)] &= E[\bar{C}(S)] \\ E[C(s)] &= K + E[C(S)], \quad s < S \end{aligned} \quad (2.95)$$

Si en la ecuación se tiene otro valor $s_1 > S$ se le descarta.

Entonces para la política de pedido suponemos que x es la cantidad disponible antes de colocar el siguiente pedido, se tienen tres condiciones:

1. $x < s$
2. $s \leq x \leq S$
3. $x > S$

Caso 1 ($x > s$): Como ya se tiene una cantidad x en el cual su costo equivale a $E[C(x)]$. Si realizamos un pedido adicional $y-x$ donde $y > x$ su costo para y estaría dado por $E[\bar{C}(y)]$ en el que se incluye el costo de preparación K . De la Figura 12 se tiene

$$\min_{y>x} E[\bar{C}(y)] = E[\bar{C}(S)] < E[C(x)]$$

En el que la política de inventario óptima es pedir $S - x$ unidades.

Caso 2 ($s \leq x \leq S$): De la Figura 12 se tiene

$$E[C(x)] \leq \min_{y > x} E[\bar{C}(y)] = E[\bar{C}(S)]$$

En el que la política de inventario indica que no se debería realizar el pedido para este caso. Por lo que $y^* = x$.

Caso 3 ($x > S$): De la Figura 12 se tiene que $y > x$

$$E[C(x)] < E[\bar{C}(y)]$$

Al igual que en el caso 2, no se debería realizar el pedido o sea $y^* = x$.

Por lo que la política de inventario utiliza la *política s-S* que resume el pedido de la siguiente manera

$$y^* = \begin{cases} S - x & \text{si } x < s \\ x, & \text{si } x \geq s \end{cases} \quad (2.96)$$

En el cual se debe realizar el pedido ($S - x$) si $x < s$ y no realizar el pedido si $x \geq s$, esta política esta garantizado ya que la función de costo es convexa.

2.2.16.5 Modelo de varios periodos

A diferencia de los dos anteriores modelos mencionados, en este modelo se presentan varios periodos bajo el supuesto de que no se tenga costo de preparación. Además se permite un retraso en el cumplimiento de la demanda y no se tiene un retraso en la entrega.

La demanda D sigue una función de densidad $f(D)$ para cualquier periodo. Se tiene un factor de descuento α tal que $\alpha < 1$, por lo que la cantidad monetario disponible A durante los n periodos tendrán un valor de $\alpha^n A$. En el caso de que el inventario tenga n periodos y que la escasez se deja pendiente en un periodo se define

$F_i(x_i)$ = Utilidad máxima esperada durante los periodos $i, i + 1, i + 2, \dots, n$ dado que x_i es la cantidad disponible antes de colocar el siguiente pedido en el periodo i

Teniendo en cuenta el costo e ingreso por unidad denotadas por c y r respectivamente, asimismo tomando las notaciones vistas en los modelos de un periodo y $F_{n+1}(y_n - D) = 0$ se tiene el siguiente modelo de programación probabilística.

$$F_i(x_i) = \max_{y_i \geq x_i} \left\{ -c(y_i - x_i) + \int_0^{y_i} [rD - h(y_i - D)] f(D) dD \right. \\ \left. + \int_{y_i}^{\infty} [ry_i + \alpha r(D - y_i) - p(D - y_i)] f(D) dD \right. \\ \left. + \alpha \int_0^{\infty} F_{i+1}(y_i - D) f(D) dD \right\}, \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, n \quad (2.97)$$

El valor de x_i puede ser negativa por la escasez pendiente, se incluye la cantidad $\alpha r(D - y_i)$ en la segunda integral porque $(D - y_i)$ es la demanda no satisfecha en el periodo i que debe ser satisfecha en el periodo $i + 1$. El problema se resuelve mediante la manera recursiva. Si la cantidad de pedidos en los periodos es finita, la ecuación recursiva se reduce a

$$F(x) = \max_{y \geq x} \left\{ -c(y - x) + \int_0^y [rD - h(y - D)] f(D) dD \right. \\ \left. + \int_y^{\infty} [ry + \alpha r(D - y) - p(D - y)] f(D) dD \right. \\ \left. + \alpha \int_0^{\infty} F(y - D) f(D) dD \right\} \quad (2.98)$$

Donde “ x ” y “ y ” son los inventarios durante cada periodo antes y después de recibir el pedido respectivamente.

El valor óptimo de y se determina a partir de la siguiente condición necesaria y suficiente ya que la función de ingreso $F(x)$ es cóncava

$$\begin{aligned}
\frac{\partial F(x)}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial y} \left[\max_{y \geq x} \left\{ -c(y-x) + \int_0^y [rD - h(y-D)] f(D) dD \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + \int_y^\infty [ry + \alpha r(D-y) - p(D-y)] f(D) dD \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + \alpha \int_0^\infty F(y-D) f(D) dD \right\} \right] \\
\frac{\partial F(x)}{\partial y} &= -c - h \int_0^y f(D) dD + \int_y^\infty [(1-\alpha)r + p] f(D) dD \\
&\quad + \alpha \int_0^\infty \frac{\partial F(y-D)}{\partial y} f(D) dD = 0
\end{aligned} \tag{2.99}$$

El valor de $\frac{\partial F(y-D)}{\partial y}$ se determina de la siguiente manera. Si hay más unidades $\beta > 0$ disponibles al inicio del siguiente periodo, la utilidad del siguiente periodo se incrementará en $c\beta$, ya que se pide esa cantidad de manera menor, lo que indica que:

$$\frac{\partial F(y-D)}{\partial y} = c$$

De lo que en (2.99) la condición necesaria es

$$-c - h \int_0^y f(D) dD + [(1-\alpha)r + p] \left(1 - \int_0^y f(D) dD \right) + \alpha c \int_0^\infty f(D) dD = 0$$

Sea $w = \int_0^y f(D) dD$ y además se sabe que $\int_0^\infty f(D) dD = 1$ por la definición de variable aleatoria continua (2,2,6), reemplazando en la condición y resolviendo se tiene la siguiente expresión

$$\begin{aligned}
-c - hw + [(1-\alpha)r + p](1-w) + \alpha c &= 0 \\
-c - hw + [r - \alpha r + p](1-w) + \alpha c &= 0 \\
-c - wh + r - \alpha r + p - wr + war - wp + \alpha c &= 0 \\
wh + wr - war + wp &= -c + r - \alpha r + p + \alpha c \\
w(h + r - \alpha r + p) &= p + r - \alpha r - c + \alpha c \\
w(p + h + r - \alpha r) &= p + r(1-\alpha) - c(1-\alpha)
\end{aligned}$$

$$w(p + h + r(1 - \alpha)) = p + (r - c)(1 - \alpha)$$

$$w = \frac{p + (r - c)(1 - \alpha)}{p + h + r(1 - \alpha)}$$

Reemplazando $w = \int_0^y f(D)dD$ se tiene el nivel óptimo del inventario y^* determinado a partir de

$$\int_0^{y^*} f(D)dD = \frac{p + (r - c)(1 - \alpha)}{p + h + r(1 - \alpha)} \quad (2.100)$$

En el cual la política de inventario óptima durante cada periodo, si el nivel de inventario es x se da de la siguiente manera

$$y^* = \begin{cases} y^* - x & \text{si } x < y^* \\ x, & \text{si } x \geq y^* \end{cases} \quad (2.101)$$

En el cual se debe realizar el pedido ($y^* - x$) si $x < y^*$ y no realizar el pedido si $x \geq y^*$.

2.2.17 Organización del centro de salud integral “La Fuente”

Historia

LA FUENTE CENTRO DE SALUD INTEGRAL es una Organización Cristiana que opera desde el año 2005 en el distrito de San Jerónimo, Cusco, Perú. Se constituye formalmente como Asociación Civil Sin Fines de Lucro el 28 de Octubre del año 2008.

Nuestro deseo es brindar atención excelente en servicios de salud a la población del Cusco y su alrededor, y, al hacerlo, compartir el amor que Dios nos ha mostrado a través de Jesucristo.

Nuestro equipo esta compuesto por médicos norteamericanos titulados en su especialidad respectiva, y profesionales peruanos debidamente licenciados. Hablamos inglés, castellano y quechua.

Misión

Promover vidas saludables para nuestros pacientes, brindándoles la mejor atención a nuestro alcance: preventiva de rehabilitación y curativa, de manera integral, atendiendo tanto su salud física como espiritual, sobre el fundamento de nuestra fe en Jesucristo.

Visión

Ser, al 2035 una organización líder en salud a nivel nacional, y referente en Oftalmología a nivel global, que muestre a Jesucristo en cada servicio que brindamos a todas las personas que lleguen a nosotros.

Valores

Tabla 2

Valores La Fuente Centro de Salud Integral

VALORES CENTRALES	METAS	PRINCIPIOS
Compasión	Atención con empatía	Amor y cuidado
Justicia	Acceso equitativo	Equidad / No discriminación
Servicio	Servicios de alta calidad	Diligencia
Integridad	Promoción de las mejores prácticas éticas y transparentes	Alineación con valores cristianos
Cooperación	Trabajo efectivo en equipo	Impacto mediante la colaboración

Estructura organizativa

1. ORGANO DE DIRECCIÓN

- a) Dirección General

2. ORGANOS DE ASESORAMIENTO

- a) Departamento Legal
- b) Departamento de Contabilidad y Finanzas
- c) Medicina Ocupacional
- d) Seguridad y Salud en el Trabajo
- e) INLASER (Marketing)

3. ORGANOS DE APOYO

- a)* Administración General
- b)* Dirección de Operaciones
- c)* Departamento de Logística de Insumos Médicos
 - Cotizaciones
 - Almacén
- d)* Ingeniería Biomédica
- e)* Infraestructura y Servicios Generales
 - Portería y Seguridad
 - Limpieza y mantenimiento
- f)* Sistemas & TI
 - Soporte Técnico
 - Software y Programación
- g)* Gestión de HHCC

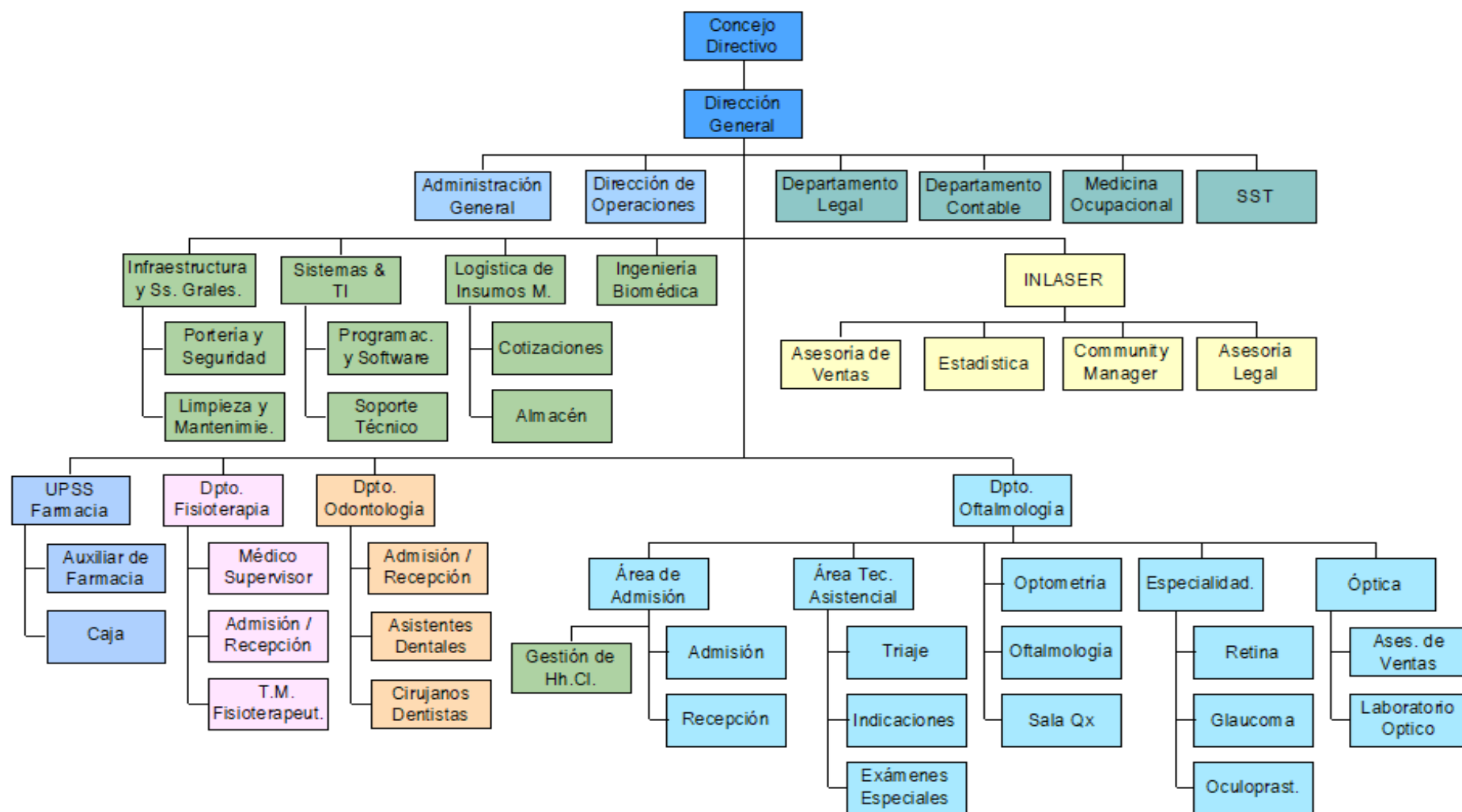
4. ORGANOS EN LINEA

- a)* UPSS Farmacia
- b)* Departamento de Fisioterapia
 - Admisión / Recepción
 - Consultorios Externos
- c)* Departamento de Odontología
 - Admisión / Recepción
 - Consultorios Externos
- d)* Departamento de Oftalmología
 - Área de Admisión
 - Admisión

- Recepción
- Área de Asistencia Técnica
 - Triage
 - Indicaciones
 - Exámenes Especiales
- Optometría
- Oftalmología
- Especialidades
 - Retina
 - Glaucoma
 - Oculoplastía
- Sala de Cirugías y Procedimientos
 - Cotizaciones
 - Esterilización
 - Cirugías no electivas y Electivas
- Óptica
 - Asesoría de Ventas
 - Laboratorio Óptico

Figura 13

Organigrama La Fuente Centro de Salud Integral



2.3 Marco conceptual

Análisis ABC: Análisis que divide el inventario en tres grupos. El grupo A es más importante que el grupo B que, a su vez más importante que el C. (Render et al., 2006)

Inventario: Es cualquier recurso almacenado que se utiliza para satisfacer una necesidad actual o futura. (Render et al., 2006)

Demanda: Es la cantidad que los compradores desean adquirir o comprar de un determinado bien para satisfacer sus necesidades. (Mankiw y Rabasco, 2007)

Costos: Valor de mercado de los insumos que la empresa utiliza en la producción o mantenimiento del bien. Todo lo que el vendedor renuncia para producir el bien (Mankiw y Rabasco, 2007)

Descuentos por cantidad: Costo por unidad cuando se tienen grandes órdenes de un artículo. (Render et al., 2006)

Faltantes: Situación que ocurre cuando no hay inventario en disponibilidad. (Render et al., 2006)

Punto de Reorden: Momento en el que se toma la decisión de cuando realizar el pedido. (Taha, 2012)

Tiempo de entrega: Tiempo que se demora en recibir la orden una vez realizada. (Render et al., 2006)

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis

3.1.1 *Hipótesis general*

El control de almacén del centro de salud integral La Fuente del Cusco se optimizará mediante la aplicación de los modelos de inventarios.

3.1.2 *Hipótesis específicas*

- Los productos más demandados y/o costosos en el centro de salud integral La Fuente del Cusco vienen a ser aquellos usados en el área de oftalmología.
- Los modelos de inventarios determinísticos se adecuan a los productos más demandados y/o costosos.
- Las cantidades, tiempo y costos de inventarios se optimizarán aplicando los modelos de inventarios.
- El aplicativo web de Shiny monitoreara y dara seguimiento a los productos del centro de salud integral La Fuente del Cusco.

3.2 Identificación de variables

3.2.1 *Variables dependientes*

Las variables dependientes vienen a ser las respuestas a la política de inventarios sobre cuánto pedir y cuándo pedir expresados por el tiempo (T^*), la cantidad de pedidos (y^*), punto de reorden (R) y costos totales de inventarios $CTI(y^*)$ óptimos que van a estar influenciados principalmente por el comportamiento de la demanda y costos del inventario.

3.2.2 *Variables independientes*

- Comportamiento de la demanda de los productos.
 - Tiempos en reabastecer el pedido (L)
 - Función de la demanda de los productos (D)
- Costos de inventario
 - Costo de compra (C)
 - Costo de preparación (K)
 - Costo de retención (h)
 - Costo por escasez (p)

3.3 Operacionalización de variables

Tabla 3

Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición	Indicador	Tipo	Escala
Dependiente				
Cantidad de pedido óptimo	Es la cantidad de pedido óptimo que tiene la política del producto, que responde a ¿Cuánto pedir? (Taha, 2012)	Cantidad o unidades del producto que se deben realizar (y^*)	Continua	Razón
Tiempo de pedido óptimo	Es el tiempo de pedido óptimo que tiene la política del producto, que responde a ¿Cuándo pedir? (Taha, 2012)	Tiempo de solicitud del producto (T^*)	Discreta	Razón
Punto de reorden	Es la cantidad del producto que debe llegar para realizar el siguiente pedido. (Taha, 2012)	Cantidad del producto para realizar el siguiente pedido (R)	Continua	Razón
Costo total del inventario óptimo	Es el costo total que se tendrá aplicando la política de inventarios. (Taha, 2012)	Costo total de inventario $CTI(y^*)$	Continua	Razón

Variable	Definición	Indicador	Tipo	Escala
Independiente				
Tiempo de reabastecimiento	Tiempo de entrega del proveedor desde que se realiza el pedido hasta el momento de la entrega. (Taha, 2012)	Tiempo desde la realización del pedido hasta la entrega (L)	Discreta	Razón
Demanda	Comportamiento del producto sobre sus salidas que se encuentra en base a las solicitudes realizadas por los usuarios que requieran dicho producto. (Hillier y Lieberman, 2003)	Demanda del producto (D)	Continua	Razón
Costos	Es el monto que cuesta el producto en el inventario que se encuentra en función de los costos que conlleva poseer dicho producto. (Taha, 2012)	Costo de compra (C)	Continua	Razón
		Costo de preparación (K)	Continua	Razón
		Costo de retención (h)	Continua	Razón
		Costo de escasez (p)	Continua	Razón

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada, como indican Hernández-Sampieri y Mendoza (2020) se está evaluando los productos adquiridos para el funcionamiento del centro de salud integral, desde la selección de productos importantes que requieran un análisis más exhaustivo, los factores que influyen sobre el tiempo de pedido y las cantidades de pedido de esos productos, con la finalidad de encontrar una política óptima de inventarios. De esta forma aumentar el conocimiento científico sobre modelos de investigación operativa y resolver problemas de gestión y almacenamiento usando modelos de inventarios.

4.2 Enfoque de la investigación

Esta investigación tiene enfoque cuantitativo dado que los datos recopilados tienen medición numérica en las características de los productos (entradas, salidas, espacio de almacenamiento, descuentos, entre otros) que serán utilizadas en las variables de estudio. De los cuáles serán analizados de forma descriptiva e inferencial según a los objetivos planteados.

Además, para determinar la política óptima de inventario sobre cuánto pedir y cuándo pedir se utilizarán modelos matemáticos (modelos de inventarios determinísticos) y modelos estadísticos (modelos de inventarios probabilísticos) de inventarios que serán utilizados en el desarrollo de la investigación. (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2020)

4.3 Alcance de la investigación

La investigación tiene un alcance descriptivo debido a que se detalla y caracteriza los productos que se encuentran en el almacén del centro de salud integral, describiendo sus variables en el análisis de forma independiente y conjunta.

También se tiene un alcance correlacional-explicativo debido a las influencias que tienen

la demanda y costos de los productos a la variable de cantidad y pedido óptima; y si estas influencias producen causalidad entre las variables dependientes e independientes, teniendo un alcance explicativo.

Por lo tanto el estudio no solo describirá características de los productos, sino buscará relación y explicación a la gestión de los productos para tener una política óptima de inventarios. (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2020)

4.4 Diseño de la investigación

Diseño de investigación no experimental según Hernández-Sampieri y Mendoza (2020), porque no se realizó ninguna manipulación en las variables de estudio y solo se delimitó a observar y analizar los fenómenos ocurridos.

Asimismo se tuvo un corte longitudinal ya que se recolectaron las informaciones mediante boletas y registros de movimientos pasados realizados en diferentes tiempos del año 2024.

Por lo tanto el diseño de la investigación cuantitativa es retrospectivo longitudinal no experimental.

4.5 Población y muestra

4.5.1 Población

La población estará conformada por todos los productos que se encuentran en el almacén del centro de salud integral “La Fuente” del Cusco en el año 2024.

4.5.2 Población de estudio

Para la investigación se obtuvo una cantidad total de 471 productos registrados en almacén del centro de salud integral. De la cual el único criterio de inclusión a tomar en cuenta para seleccionar los productos que se analizarán mediante los modelos de inventarios, serán aquellos que se encuentren en el grupo A de la clasificación de actividades basadas en costos (ABC), la justificación y uso de esta clasificación se detalla en el marco teórico del apartado (2.2.9)

4.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.6.1 Técnica

La técnica empleada es la revisión de documentos y/o análisis de datos secundarios del registro que se tienen de los productos de almacén del centro de salud integral.

4.6.2 Instrumento

Se consultaron los documentos como boletas, ordenes de compra, KARDEX, cotizaciones entre otros del departamento de logística el centro de salud integral “La Fuente” en el año 2024 con respecto a los datos específicos requeridos de los productos para el estudio.

4.6.3 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Los datos serán recopilados y cargados en un archivo de extensión *.xlsx* para que posteriormente mediante el lenguaje de programación R y el entorno de desarrollo integrado RStudio se realice el análisis descriptivo apropiado así como la clasificación ABC para seleccionar los productos que serán evaluados mediante el modelo de inventarios.

Seleccionando los productos en la categoría A se creará otro archivo de extensión *.xlsx* en donde se detallarán los movimientos recopilados en diferentes fechas del año 2024 de cada producto y se desarrollará la política de inventario según a los objetivos planteados en los cuales se describirá, analizará e interpretará los resultados obtenidos.

4.7 Técnicas para demostrar la verdad o falsedad de las hipótesis planteadas

Las hipótesis de investigación planteadas en el estudio serán comprobadas mediante los resultados obtenidos por la política de inventarios, ya sea la clasificación ABC, los modelos de inventarios. De igual forma se utilizarán pruebas estadísticas para el caso de modelos inventarios estadísticos como la normalidad de datos.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

Con el objetivo de determinar la política de inventario óptima, se tuvo un registro de los productos de almacén, donde primero se analizó los productos más demandados, seguidamente se extrajo el monto total en soles de cada producto que tuvo en el año 2024 así como el respectivo volumen de almacenamiento que tiene en cm^3 . Para que sean evaluados descriptivamente mediante el análisis ABC y el diagrama de Pareto, seleccionando los productos que se analizarán mediante el modelo de inventarios.

5.1 Análisis descriptivo de los productos de almacén

Primeramente se describirá los 471 productos registrados mediante el área y la especialidad indicando su porcentaje en costos y almacenamiento.

5.1.1 Nivel de área

En esta parte se describirá los resultados en porcentaje de los costos y almacenamiento de los productos agrupados por áreas.

Tabla 4
Resultados por área de productos de almacén

Área	Productos	(%) de Costos	(%) Ocupación
Oftalmología	212	92,86 %	80,09 %
Odontología	259	7,14 %	19,91 %
Total	471	100 %	100 %

La Tabla 4 describe los 471 productos de almacén agrupados por área, se muestra que la mayor parte de costos son productos del área de oftalmología con 212 productos tomando el 92,86 % de costos, seguido del área de odontología con 259 productos tomando el 7,14 % de costos. De la misma forma el porcentaje de ocupación de productos de oftalmología es del

80,09 % mientras que productos del área de odontología ocupan solo el 19,91 % del espacio de almacén.

5.1.2 Nivel de especialidad

Se describirá los resultados con respecto al porcentaje de costos y espacio de almacenamiento de los productos agrupados por especialidad.

Área de oftalmología

En almacén con respecto a insumos del área de oftalmología se tienen registrado 212 productos los cuales sirven para abastecer las diferentes especialidades y servicios que ofrece el centro de salud integral del área de oftalmología, de los cuales estos vienen a ser:

- Insumos generales
- Tintas (usadas para las impresoras que se tienen)
- INLASER
- FACO
- Retina
- CROSSLINKING
- Esterilización
- Catarata
- ICL
- Glaucoma
- Oculoplastía
- Avastin

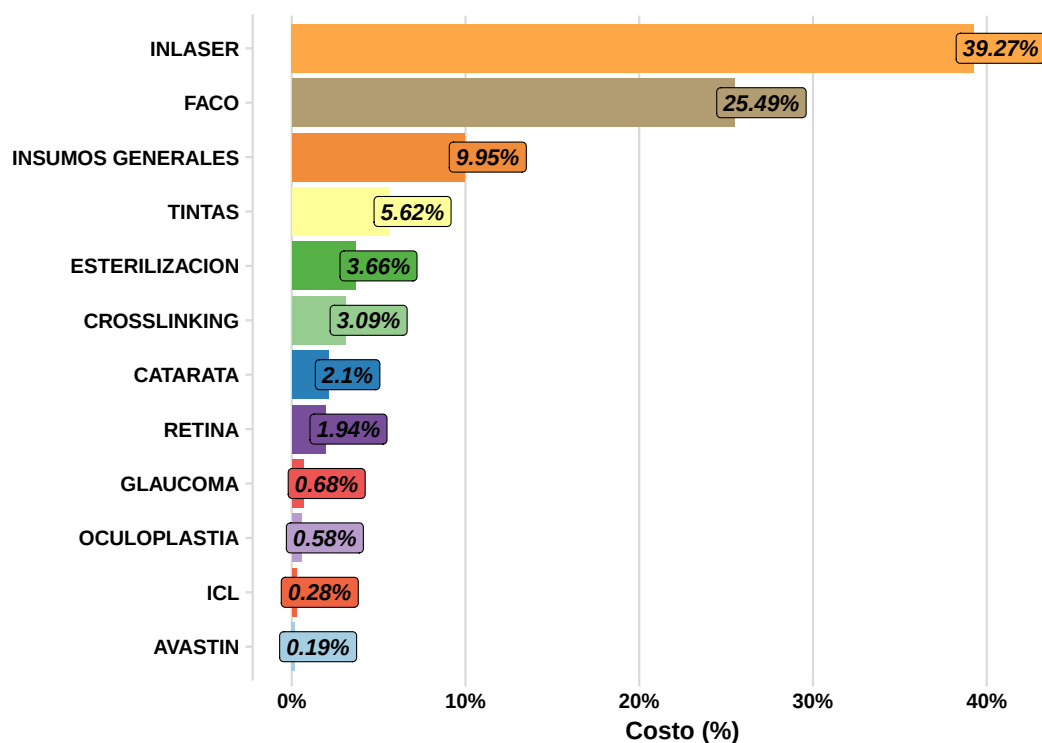
Tabla 5
Resultados de insumos del área de oftalmología por especialidad

Especialidad	Productos	(%) de Costos	(%) Ocupación
INLASER	6	39,27 %	2,20 %
FACO	6	25,49 %	2,82 %
Insumos generales	105	9,95 %	31,91 %
Tintas	27	5,62 %	6,38 %
Esterilización	27	3,66 %	27,32 %
CROSSLINKING	2	3,09 %	0,48 %
Catarata	10	2,10 %	1,96 %
Retina	16	1,94 %	4,60 %
Glaucoma	3	0,68 %	0,37 %
Oculoplastía	6	0,58 %	0,48 %
ICL	2	0,28 %	0,34 %
Avastín	2	0,19 %	1,22 %
Total	212	92,86 %	80,09 %

La Tabla 5 describe los productos del área de oftalmología agrupados por especialidad en donde se muestra que la mayor cantidad de productos del área de oftalmología son insumos generales con 105 productos ocupando el 31,91 % de almacén, seguido de 27 productos de la especialidad de esterilización ocupando el 27,32 % de almacén, tintas con 27 productos ocupando el 6,38 % de almacén, retina con 16 productos ocupando el 4,60 % de almacén, FACO con 6 productos ocupando el 2,82 % de almacén, INLASER con 6 productos ocupando el 2,20 % de almacén, catarata con 10 productos ocupando el 1,96 % de almacén, avastin con 2 productos ocupando el 1,22 % de almacén, oculoplastía con 6 productos ocupando el 0,48 % de almacén, CROSSLINKING con 2 productos ocupando el 0,48 % de almacén, glaucoma con 3 productos ocupando el 0,37 % de almacén, y los productos que ocupan el menor espacio en almacén son de la especialidad de ICL con 2 productos ocupando solo el 0,34 %

Figura 14

Productos del área de oftalmología por especialidad en base al (%) de costos



La Figura 14 muestra un gráfico de barras de las especialidades del área de oftalmología ordenado por el porcentaje de costos, donde se observa que la mayor parte de los costos del área de oftalmología son de la especialidad de INLASER con el 39,27 % de los costos totales, seguido de la especialidad de FACO con el 25,49 % de costos, insumos generales con el 9,95 % de costos, tintas con el 5,62 % de costos, esterilización con el 3,66 % de costos, CROSSLINKING con 3,09 % de costos, catarata con 2,10 % de costos, retina con 1,94 % de costos, glaucoma con 0,68 % de costos, oculoplastia con 0,58 % de costos, ICL con 0,28 % de costos y de la especialidad de avastín con el 0,19 % de los costos totales.

Área de odontología

En almacén con respecto a insumos del área de odontología se tienen registrado 260 productos los cuales sirven para abastecer las diferentes especialidades y servicios que ofrece el centro de salud integral en el área de odontología, de los cuales estos vienen a ser:

- Prostodoncia
- Operatoria
- Endodoncia
- Cirugías
- Materiales
- Periodoncia

Tabla 6

Resultados de insumos del área de odontología por especialidad

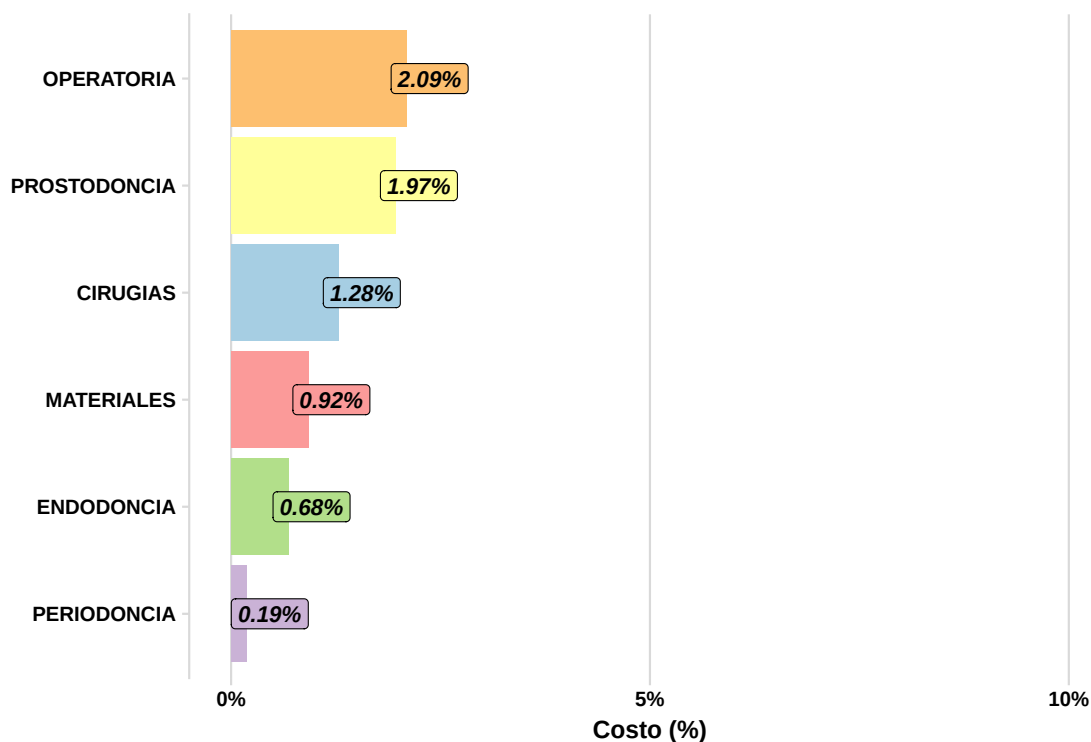
Especialidad	Productos	(%) de Costos	(%) Ocupación
Operatoria	93	2,09 %	3,95 %
Prostodoncia	65	1,97 %	4,24 %
Cirugías	16	1,28 %	2,54 %
Materiales	25	0,92 %	6,47 %
Endodoncia	51	0,68 %	1,56 %
Periodoncia	9	0,19 %	1,14 %
Total	259	7,14 %	19,91 %

La Tabla 6 describe los productos del área de odontología agrupados por especialidad, donde se muestra que la mayor cantidad de productos del área de odontología son materiales con 25 productos ocupando el 6,47 % de almacén, seguido de 65 productos de la especialidad de prostodoncia ocupando el 4,24 % de almacén, operatoria con 93 productos ocupando el 3,95 %

de almacén, cirugías con 16 productos ocupando el 2,54 % de almacén, endodoncia con 51 productos ocupando el 1,56 % de almacén y periodoncia con 9 productos ocupando solo el 1,14 % de almacén.

Figura 15

Productos del área de odontología por especialidad en base al (%) de costos



La Figura 15 muestra un gráfico de barras de las especialidades de odontología ordenados por el porcentaje de costos en donde se observa que la mayor parte de los costos del área de odontología son de la especialidad de operatoria con el 2,09 % de los costos totales, seguido de la especialidad de prostodoncia con el 1,97 % de costos, cirugías con 1,28 % de costos, materiales con 0,92 % de costos, endodoncia con 0,68 % de costos y de la especialidad de periodoncia con el 0,19 % de los costos totales.

5.2 Análisis descriptivo mediante actividades basadas en costos (ABC)

Se describe la información de todos los productos registrados en función de los costos que vendrían a ser el costo total del año 2024 en salidas para evaluar la demanda en función monetaria, de la misma forma ver los espacios de almacenamiento. Este análisis será en función del porcentaje del total de costos y almacenamiento como se muestra en la Tabla 1

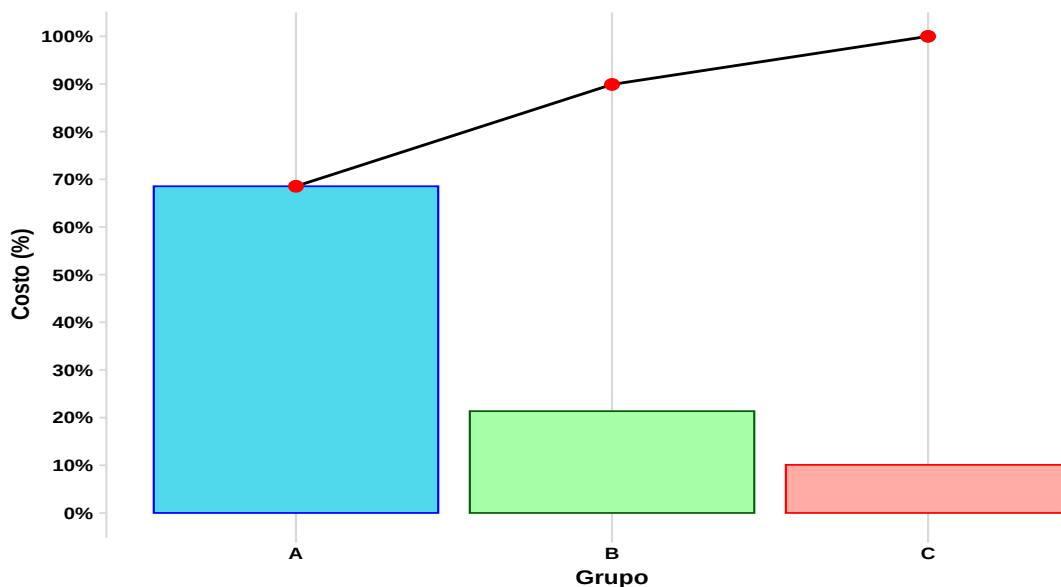
Tabla 7
Resultados de la clasificación (ABC)

Grupo	Productos	(%) de Costos	(%) Ocupación
A	8	68,55 %	3,74 %
B	34	21,36 %	29,09 %
C	429	10,09 %	67,17 %
Total	471	100 %	100 %

En la Tabla 7, se muestra el análisis ABC de los productos de almacén del centro de salud clasificados mediante los costos producidos en el año 2024. De manera general se observa que la mayor denominación o cantidad de productos se encuentra en el grupo C con 429 productos ocupando el 67,17 % del espacio de almacén, seguido del grupo B con 34 productos ocupando el 29,09 % del espacio de almacén y por último el grupo A con 8 productos ocupando solo el 3,74 % del espacio de almacén.

Figura 16

Diagrama de Pareto productos de almacén del centro de salud integral agrupados por análisis basados en costos (ABC)



En la Figura 16 se observa el diagrama de Pareto con respecto a los costos acumulados en el año 2024 de los productos de almacén del centro de salud integral, en donde se observa que los 8 productos del grupo A conforman un 68,55 % de los costos totales de almacén, los del grupo B el 21,36 % y los del grupo C solo el 10,09 % de costos totales.

5.2.1 Selección de productos

Tomando en cuenta los resultados de la Tabla 7 y el diagrama de Pareto de la Figura 16, la política de inventarios debe priorizar a los 8 productos que se encuentran en el grupo A del análisis ABC. Siguiendo la metodología ABC de la sección (2.2.9) se tomará los 8 productos del grupo A y productos del grupo B que tienen mayores costos, esto con la solicitud del área de logística del centro de salud siendo 10 productos adicionales. Teniendo un total de 18 productos seleccionados en los que se aplicarán los modelos de inventarios.

Resultados descriptivos de productos seleccionados

Se describirá los resultados con respecto al porcentaje de costos y espacio de almacenamiento de los productos seleccionados para el modelo de inventarios.

Tabla 8*Resultados por área de productos seleccionados mediante el análisis ABC*

Área	Productos	(%) de Costos	(%) Ocupación
Oftalmología	18	79,31 %	24,44 %

La Tabla 8 muestra los productos seleccionados mediante el análisis ABC agrupados por área, en el que todos los 18 productos seleccionados son del área de oftalmología ocupando el 79,31 % de costos y ocupan un 24,44 % del espacio de almacén.

Tabla 9*Resultados por especialidad de productos seleccionados mediante el análisis ABC*

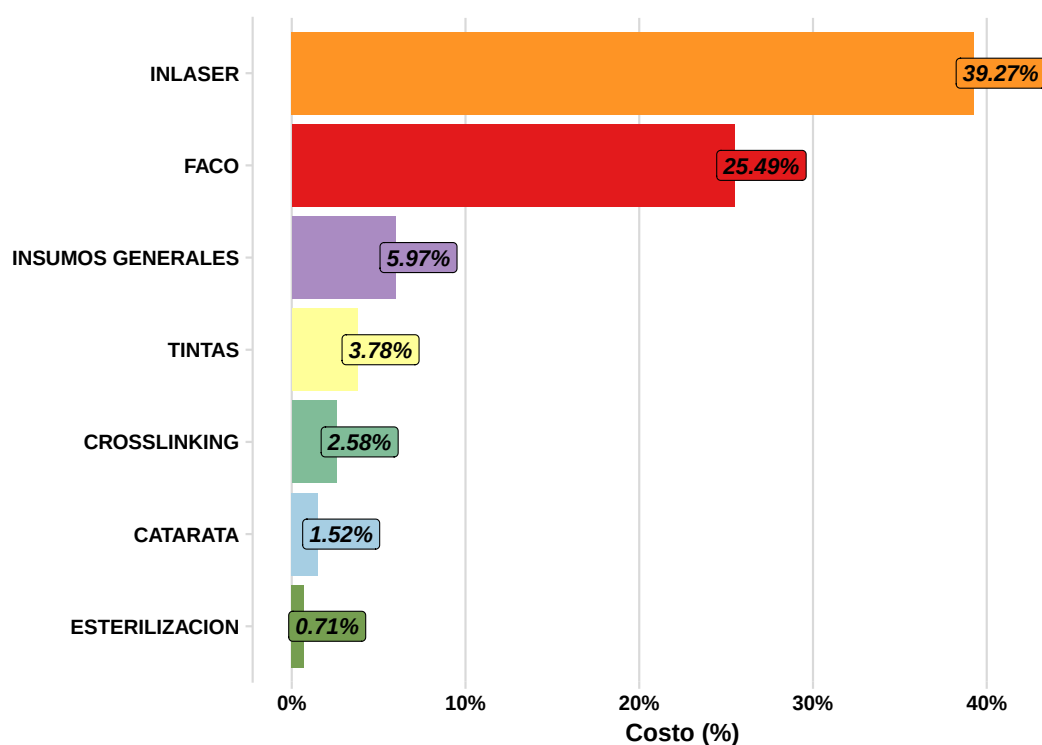
Área	Especialidad	Productos	(%) de Costos	(%) Ocupación
Oftalmología	INLASER	2	39,27 %	0,79 %
	FACO	5	25,49 %	2,59 %
	Insumos generales	4	5,97 %	1,49 %
	Tintas	3	3,78 %	0,86 %
	CROSSLINKING	1	2,58 %	0,24 %
	Catarata	2	1,52 %	0,76 %
	Esterilización	1	0,71 %	17,70 %
Total		18	79,31 %	24,44 %

La Tabla 9 muestra los productos seleccionados mediante el análisis ABC agrupados por especialidad, en donde se muestra que la mayor parte de los productos seleccionados por el análisis ABC son de la especialidad de INLASER con 2 productos ocupando el 39,27 % de costos, seguido de 5 productos de la especialidad de FACO ocupando el 25,49 % de costos, insumos generales con 4 productos ocupando el 5,97 % de costos, tintas con 3 productos ocupando el 3,78 % de costos, CROSSLINKING con 1 producto ocupando el 2,58 % de costos, catarata con 2 productos ocupando el 1,52 % de costos y esterilización con 1 producto ocupando el 0,71 % de costos. De la misma forma que con respecto al porcentaje de ocupación de almacén, el producto de esterilización ocupan una gran parte de almacén siendo el 17,70 % del área de almacén, y los

que ocupan la menor parte es el producto de CROSSLINKING con solo el 0,24 % de ocupación de almacén.

Figura 17

Productos seleccionados mediante el análisis ABC por especialidad en base al (%) de costos



La Figura 17 muestra un diagrama de barras de los productos seleccionados mediante el análisis ABC agrupados por especialidad y ordenados en base al porcentaje al costo, se observa que de los productos seleccionados para aplicar el modelo de inventarios lo que tienen la mayor parte de costos son de la especialidad de INLASER siendo el 39,27 % de los costos, seguido de FACO con el 25,49 % de costos, mientras que los productos con menor porcentaje son de la especialidad de CROSSLINKING, catarata y esterilización.

Descripción de los productos seleccionados

Tabla 10

Descripción de los productos seleccionados mediante la clasificación (ABC)

Código	Área	Subárea	Denominación
PROD001	Oftalmología	INLASER	Paquete de tratamiento talla “S”
PROD002	Oftalmología	FACO	KIT para procedimiento quirúrgico oftálmico (pack centurion ultra balance)
PROD003	Oftalmología	FACO	Bolsa de solución BSS BAG 500 ml
PROD004	Oftalmología	FACO	Cuchillo de hendidura CLEAR CUT HP2 2.4 mm bisel doble, intrepido sistema microcoaxial
PROD005	Oftalmología	FACO	AJL VISC 1.4 % - pack solución viscoelástica para uso intraocular hialuronato sódico 14 mg/ml canula 1x27g
PROD006	Oftalmología	Insumos generales	Cuchillo lateral CLEAR CUT doble bisel 1.2 mm angulado
PROD007	Oftalmología	CROSSLINKING	Solución de riboflavina VIBEX RAPID 0.1 % isotónico jeringa de 1.5 ml
PROD008	Oftalmología	INLASER	Anterior chamber cannula 27 g x 9 mm BEND
PROD009	Oftalmología	FACO	Canula para cistotoma formada 27 g
PROD010	Oftalmología	Tintas	Toner TNP80Y yellow para Konica Minolta BIZHUB C-3320i
PROD011	Oftalmología	Insumos generales	Campo quirúrgico para ojos desechable 100 cm x 70 cm
PROD012	Oftalmología	Tintas	Toner TNP80C cyan para Konica Minolta BIZHUB C-3320i

Código	Área	Subárea	Denominación
PROD013	Oftalmología	Insumos generales	Lentes de contacto - AIR optix dia y noche
PROD014	Oftalmología	Tintas	Toner Konica Minolta BIZHUB C-3320i Magenta
PROD015	Oftalmología	Catarata	Solución salina equilibrada (BSS) en botella de vidrio 500 ml
PROD016	Oftalmología	Insumos generales	Campo quirúrgico 100 x 120 cm
PROD017	Oftalmología	Catarata	Azul de tripan 0.06 % - 0.6 mg VIAL x 1 ml / OCUBLU - TRY
PROD018	Oftalmología	Esterilización	Agua destilada y/o desionizada

La Tabla 10 muestra la descripción de los productos seleccionados mediante la clasificación (ABC), así como del área y subárea correspondiente. La mayor parte de las denominaciones vienen a ser instrumentos utilizados en las cirugías realizadas por el centro de salud integral “La Fuente” en el área de oftalmología; asimismo también se tienen productos utilizados por impresoras ya sea en la impresión de exámenes y evaluaciones realizadas.

5.3 Análisis de la demanda y selección del modelo

Evaluando el KARDEX se tiene que los productos evaluados son mayormente derivados al área de sala de cirugías de oftalmología (a excepción de TINTAS), en el cual el área indica que el uso de los productos es según a las cirugías realizadas (cada producto utilizado para diferentes tipos de cirugías) no contando por el momento un registro de utilización de los productos, por el cual la estimación de la demanda de los productos se realizará en base a las cirugías realizadas del centro de salud en el año 2024.

Estableciendo un periodo de tiempo de 1 año tomando en cuenta las demandas mensuales en el año 2024 de los 18 productos seleccionados, se presenta la siguiente Tabla.

Tabla 11
Demanda mensual del año 2024 de los productos seleccionados

Código	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
PROD001	53	44	8	31	16	35	21	58	34	39	50	20
PROD002	7	8	7	11	4	7	8	8	9	8	8	7
PROD003	20	25	26	34	19	28	33	30	30	30	28	18
PROD004	36	50	53	62	32	55	64	55	58	59	52	36
PROD005	37	50	53	62	32	55	64	56	59	59	53	36
PROD006	36	50	53	62	32	55	64	55	58	59	52	36
PROD007	2	7	4	4	2	3	8	7	7	5	4	4
PROD008	20	24	4	16	6	14	12	17	12	17	20	7
PROD009	36	50	53	62	32	55	64	55	58	59	52	36
PROD010	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
PROD011	54	69	66	72	43	73	78	76	71	77	69	50
PROD012	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1
PROD013	17	17	11	12	9	16	11	19	13	13	14	7
PROD014	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1
PROD015	11	14	11	16	8	12	14	14	16	15	16	12
PROD016	41	63	60	65	39	64	78	65	69	68	70	47
PROD017	30	29	40	55	24	47	53	46	51	45	47	27
PROD018	6	8	7	6	3	4	8	5	9	5	9	6

La Tabla 11 muestra la demanda por los 12 meses de los productos seleccionados en el año 2024.

Posteriormente se hallará el coeficiente de variabilidad (CV) mediante la ecuación (2.20), como así mismo se determinará el modelo de inventarios adecuado.

Tabla 12
Coeficiente de variabilidad y modelo de inventarios de los productos seleccionados

Código	Total	<i>Media</i>	<i>Varianza</i>	<i>CV</i>	Modelo
PROD001	409	34,08	224,41	0,19	Determinístico
PROD002	92	7,67	2,39	0,04	Determinístico
PROD003	321	26,75	26,02	0,04	Determinístico
PROD004	612	51,00	104,33	0,04	Determinístico
PROD005	616	51,33	104,06	0,04	Determinístico
PROD006	612	51,00	104,33	0,04	Determinístico
PROD007	57	4,75	3,85	0,17	Determinístico
PROD008	169	14,08	34,58	0,17	Determinístico
PROD009	612	51,00	104,33	0,04	Determinístico
PROD010	13	1,08	0,08	0,07	Determinístico
PROD011	798	66,50	118,25	0,03	Determinístico
PROD012	13	1,08	0,08	0,07	Determinístico
PROD013	159	13,25	11,52	0,07	Determinístico
PROD014	14	1,17	0,14	0,10	Determinístico
PROD015	159	13,25	5,69	0,03	Determinístico
PROD016	729	60,75	134,02	0,04	Determinístico
PROD017	494	41,17	108,64	0,06	Determinístico
PROD018	76	6,33	3,39	0,08	Determinístico

La Tabla 12 muestra el coeficiente de variabilidad calculado para los productos seleccionados. Donde se muestra que todos los productos tienen una demanda determinística ya que su coeficiente de variabilidad es menor a 0.20 en lo que se usará un modelo determinístico de inventarios.

5.4 Determinación de costos

Procedamos a recopilar la información de los costos. El área de administración y logística proporcionó la información de compras y factores asociados al almacén del centro de salud. Para esta parte tomemos los productos seleccionados mediante el análisis ABC presentado en la sección anterior, seguidamente hallemos los costos específicos de cada producto, que se presentará en cada subsección a continuación, de la misma forma será en tamaño de su ocupación en el área de almacén, que se presenta en la siguiente Tabla.

Tabla 13
Ocupación de los productos seleccionados mediante el análisis ABC

Código	Volumen (cm^3)	Proporción en almacén
PROD001	42400	0,3367 %
PROD002	63920	0,5077 %
PROD003	140296	1,1142 %
PROD004	28800	0,2287 %
PROD005	52800	0,4193 %
PROD006	54720	0,4346 %
PROD007	30720	0,2440 %
PROD008	57600	0,4575 %
PROD009	40700	0,3232 %
PROD010	36000	0,2859 %
PROD011	92800	0,7370 %
PROD012	36000	0,2859 %
PROD013	29700	0,2359 %
PROD014	36000	0,2859 %
PROD015	85280	0,6773 %
PROD016	10640	0,0845 %
PROD017	10800	0,0858 %
PROD018	2228696	17,70 %

La Tabla 13 muestra los productos seleccionados con respecto a la dimensión que ocupa en el área de almacén. El volumen considera el espacio que se esta asignando para cada producto de almacén independientemente si los productos ocupan todo o parte del espacio asignado. No se mostraron costos de escasez ya que se tuvieron todos los productos para satisfacer la demanda en el año 2024, por lo que se tomarán los costos de compra, costo de preparación y costo de almacenamiento.

5.4.1 Costo de compra

Como se definió en la ecuación (2.19) este viene a ser los costos por unidad de cada artículo del inventario, en el cual se debe incluir costos de descuento. En la política de inventario el costo de compra no influye, pero si influye en el costo total de cada producto.

Para determinar este costo, se tomó en cuenta el KARDEX de logística en el cual se precisa el precio unitario de cada producto. Mediante la consulta al área de logística se indicó que los precios de cada producto ya son determinados de manera fija por previo acuerdo con el proveedor independiente de un descuento por cantidad, asimismo este precio de pedido también incluye el precio de transporte. Lo que indica que los precios de compra son únicamente los precios unitarios de cada producto registrado en el KARDEX resumido de la siguiente forma:

- **Costo de compra:** Costo de adquirir el producto, de manera fija con previo acuerdo del proveedor por lo que no tiene descuento.
- **Costo de transporte:** No esta incluido ya que el acuerdo de pedido es independiente a los costos de transporte, es decir se puede realizar el pedido de n productos sin necesidad de que haya un costo adicional de transporte.

La información de los productos seleccionados mediante el análisis ABC se muestra en la siguiente Tabla.

Tabla 14*Costos de compra de los productos seleccionados mediante el análisis ABC*

Código	Costo Unitario (S/)	Costo total del año 2024 (S/)
PROD001	S/ 4,282.68	S/ 165,471.40
PROD002	S/ 542.60	S/ 49,666.90
PROD003	S/ 345.15	S/ 21,532.12
PROD004	S/ 69.80	S/ 17,572.86
PROD005	S/ 90.00	S/ 17,100.00
PROD006	S/ 72.81	S/ 11,828.01
PROD007	S/ 362.94	S/ 11,370.00
PROD008	S/ 16.00	S/ 7,680.00
PROD009	S/ 143.00	S/ 6,507.00
PROD010	S/ 720.00	S/ 6,498.00
PROD011	S/ 15.59	S/ 6,259.82
PROD012	S/ 715.00	S/ 5,839.00
PROD013	S/ 143.37	S/ 4,874.58
PROD014	S/ 715.00	S/ 4,337.00
PROD015	S/ 290.00	S/ 3,480.00
PROD016	S/ 14.00	S/ 3,346.00
PROD017	S/ 400.00	S/ 3,200.00
PROD018	S/ 39.84	S/ 3,132.82

La Tabla 14 muestra los costos de compra que debe tener cada producto según el KARDEX, asimismo también se muestra el costo de compra total que se realizó en el año 2024.

5.4.2 Costo de preparación

Como se definió en la ecuación (2.19) este viene a ser los costos que incurren cuando se coloca un pedido, es decir los costos de las operaciones realizadas al momento de realizar el pedido del producto independiente de su tamaño o cantidad solicitada. Según la información

brindada por el área de administración y logística estos costos estaría en base a los siguientes conceptos:

- **Sueldo:** En el cual el centro de salud asumen un costo mensual por el tiempo que dedica el trabajador a las funciones involucradas al pedido de productos. Este costo es determinada por el área de administración en base al porcentaje de la función y su sueldo mensual, en la cual están involucrados 4 personales de logística directamente, el resultado se muestra en la siguiente Tabla.

Tabla 15
Costo de sueldos en base a costos de preparación

Personal	Costo preparación personal (S/)
Logística (personal 1)	S/ 18.00
Logística (personal 2)	S/ 25.00
Logística (personal 3)	S/ 23.00
Logística (personal 4)	S/ 5.65
Total	S/ 71.65

La Tabla 15 muestra los sueldos por mes del personal involucrado con respecto a las funciones por costo de preparación, en la que se tiene un total de S/ 71.65 por mes y en el año sería de S/ 859.80

- **Servicio de telefonía móvil:** Para realizar los pedidos son necesarios el servicio de telefonía móvil e internet para realizar el pedido. Ya que el costo del servicio no es exclusivamente para los pedidos, en cambio viene a ser un costo general que recibe el centro de salud integral, es necesario estimarlo en base al área útil que ocupa el área de trabajo de almacén, en el cual se tiene una área útil total de $1260.38m^2$ (100 %), en el cual el área útil de almacén es de $19.92m^2$ (1,58 %). Entonces tomando en cuenta que el servicio de telefonía móvil anual es de S/ 5,772.16 con respecto al área útil de almacén (1,58 %) se tiene un costo de servicio para preparación de S/ 91.20 anual.

Por lo que tomando estos dos costos, se tiene un costo de preparación por servicios de S/ 91.20 y un costo de preparación por personal de S/ 859.80, en el que sumando ambos costos

se tiene un costo de preparación de S/ 951.00 que viene a ser de todo almacén. Si tomamos este precio en base a la proporción de pedidos realizados en el año 2024 se tendría el costo de preparación, la información de la cantidad de pedidos realizados se obtendrá mediante el KARDEX de logística y las órdenes realizadas. La siguiente Tabla resume estos valores para los productos seleccionados mediante el análisis ABC.

Tabla 16
Costos de preparación de los productos seleccionados mediante el análisis ABC

Código	Pedidos	Proporción Pedidos (%)	Costo de preparación (S/)
PROD001	2	0,40 %	S/ 3.80
PROD002	9	1,82 %	S/ 17.31
PROD003	10	2,02 %	S/ 19.21
PROD004	5	1,01 %	S/ 9.61
PROD005	4	0,81 %	S/ 7.70
PROD006	2	0,40 %	S/ 3.80
PROD007	1	0,20 %	S/ 1.90
PROD008	4	0,81 %	S/ 7.70
PROD009	5	1,01 %	S/ 9.61
PROD010	6	1,21 %	S/ 11.51
PROD011	7	1,42 %	S/ 13.50
PROD012	8	1,62 %	S/ 15.41
PROD013	1	0,20 %	S/ 1.90
PROD014	5	1,01 %	S/ 9.61
PROD015	3	0,61 %	S/ 5.80
PROD016	2	0,40 %	S/ 3.80
PROD017	5	1,01 %	S/ 9.61
PROD018	6	1,21 %	S/ 11.51

La Tabla 16 muestra los pedidos realizados, la proporción de los pedidos tomando en cuenta los pedidos de todos los productos de almacén y también se muestra el costo de preparación de cada producto.

5.4.3 Costo de retención

Como se definió en la ecuación (2.19) este viene a ser los costos que se realizan al mantener la existencia de productos sobrantes, es decir los costos de almacenamiento, mantenimiento y manejo del producto. Según la información brindada por el área de administración y logística estos costos estaría en base a los siguientes conceptos:

- **Sueldo:** En el cual el centro de salud asume un costo mensual por el tiempo que dedica el trabajador a las funciones involucradas al mantenimiento de productos. Este costo es determinada por el área de administración en base al porcentaje de la función y su sueldo mensual, en la cual están involucrado 1 personal de limpieza y mantenimiento y 1 personal de seguridad directamente, el resultado se muestra en la siguiente Tabla.

Tabla 17
Costo de servicios en base a costos de retención

Personal	Costo retención personal (S/)
Seguridad	S/ 84.80
Limpieza	S/ 68.90
Total	S/ 153.70

La Tabla 17 muestra los sueldos del personal respecto a retención de S/ 153.70 por mes por lo que al año sería de S/ 1,844.40

- **Servicios:** Para realizar el adecuado almacenamiento de los productos se necesitan de servicios de energía eléctrica y agua por lo que para los costos de retención se tomará en base al área útil que ocupa el área útil de almacén que es $19.92m^2$ (1,58 %).

Tabla 18
Costo de sueldos en base a costos de retención

Servicio	Total (100 %)	Almacén (1,58 %)
Luz o energía eléctrica	S/ 51,719.70	S/ 817.70
Agua	S/ 789.31	S/ 12.47
Total		S/ 830.17

Por lo que tomando estos dos costos, se tiene un costo de retención por servicios de S/ 830.17 y un costo de retención por personal de S/ 1,844.40, en el que sumando ambos costos se tiene un costo de retención de S/ 2,674.57 que viene a ser de todo almacén. Si tomamos este precio en base a la proporción del espacio que ocupa cada producto se tendría el costo de retención, la información del volumen que ocupa cada producto sera medido del área de almacén. La siguiente Tabla resume estos valores para los productos seleccionados mediante el análisis ABC.

Tabla 19
Costos de retención de los productos seleccionados mediante el análisis ABC

Código	Volumen (cm^3)	Proporción Volumen (%)	Costo de retención (S/)
PROD001	42400	0,34 %	S/ 9.90
PROD002	63920	0,51 %	S/ 13.64
PROD003	140296	1,11 %	S/ 29.42
PROD004	28800	0,23 %	S/ 6.15
PROD005	52800	0,42 %	S/ 11.23
PROD006	54720	0,43 %	S/ 11.50
PROD007	30720	0,24 %	S/ 6.42
PROD008	57600	0,46 %	S/ 12.30
PROD009	40700	0,32 %	S/ 8.56
PROD010	36000	0,29 %	S/ 7.76
PROD011	92800	0,74 %	S/ 19.79
PROD012	36000	0,29 %	S/ 7.76
PROD013	29700	0,24 %	S/ 6.42
PROD014	36000	0,29 %	S/ 7.76
PROD015	85280	0,68 %	S/ 18.19
PROD016	10640	0,08 %	S/ 2.14
PROD017	10800	0,09 %	S/ 2.41
PROD018	2228696	17,70 %	S/ 473.40

La Tabla 19 muestra el volumen que ocupa cada producto, la proporción del volumen to-

mando en cuenta todos los productos de almacén, y también se muestra el costo de retención de cada producto.

5.5 Políticas de inventario

Tomando en cuenta el modelo seleccionado a través de la demanda, los costos de compra, preparación y retención mostrada en el capítulo anterior. Se procederá con la descripción de los productos seleccionados en base a la tendencia y la aplicación del modelo de inventarios seleccionado para generar una política de inventarios óptima.

5.5.1 Política de inventarios para los productos seleccionados mediante el análisis ABC

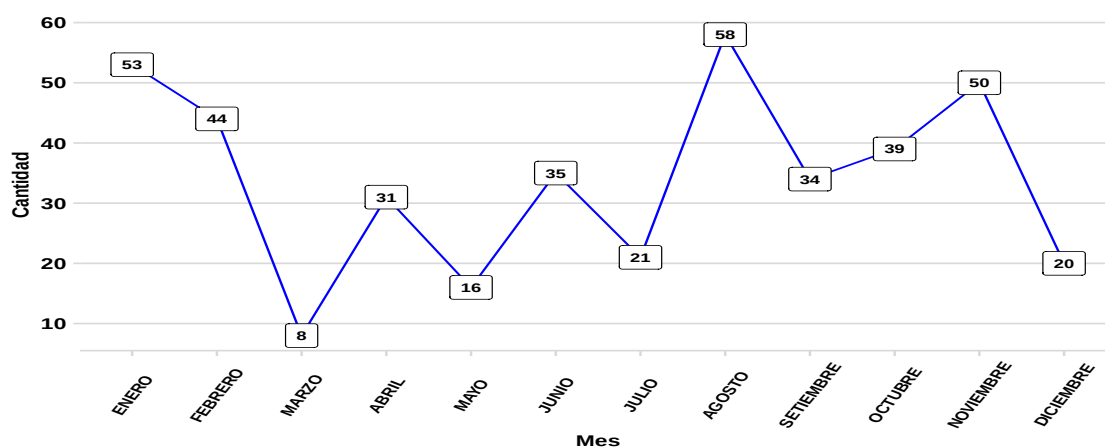
En este apartado se realizará el modelo de inventarios de los productos seleccionados, empezando realizando un análisis de su demanda, aplicación del modelo de inventarios y finalmente hallando la política de inventarios óptima.

Paquete de tratamiento talla “S”

El primer producto a evaluar es el Paquete de tratamiento talla “S” de INLASER del área de oftalmología. Este insumo es utilizado para las cirugías refractivas, primeramente observemos la tendencia de la demanda a lo largo del año 2024 en el siguiente gráfico.

Figura 18

Evolución demanda: Paquete de tratamiento talla “S” de INLASER - Oftalmología en el año 2024



La Figura 18 muestra el diagrama de líneas que representa la evolución de la demanda del paquete de tratamiento talla “S” por mes en el año 2024, se observa que la demanda tiene un comportamiento determinístico a través de los meses del año, a excepción del mes de marzo y agosto donde hubo puntos extremos, asimismo no se observa una tendencia y solo estacionariedad en el tiempo, por lo que tomando estos casos y el comportamiento de la demanda es necesario utilizar un *modelo determinístico EOQ*.

Tomando en cuenta la demanda total anual de la Tabla 12, el costo de compra de la Tabla 14, el costo de preparación estimado de la Tabla 16, el costo de retención estimado de la Tabla 19 y tiempo de reabastecimiento del pedido brindado por el área de logística se tienen los siguientes valores:

- **Demanda (D):** 409 unidades
- **Costo de compra (C):** S/ 4,282.68 por unidad
- **Costo de preparación (K):** S/ 3.80
- **Costo de retención (h):** S/ 9.90
- **Tiempo de entrega (L):** 7 días

Hallamos la cantidad de pedido óptima y^* mediante la expresión (2.30) de la siguiente manera

$$\begin{aligned}
 y^* &= \sqrt{\frac{2KD}{h}} \\
 y^* &= \sqrt{\frac{2(3,8)(409)}{9,90}} \\
 y^* &= 17,72 \\
 y^* &\approx 18 \text{ unidades}
 \end{aligned}$$

De la misma forma hallemos el intervalo de pedido óptimo T^* utilizando la expresión (2.32)

$$\begin{aligned}
 T^* &= \sqrt{\frac{2K}{Dh}} \\
 T^* &= \sqrt{\frac{2(3,8)}{(409)(9,9)}} \\
 T^* &= 0,0433
 \end{aligned}$$

Asimismo tomemos la demanda por día laborable (52 semanas * 5 días/semana = 260 días laborables) de tal forma que vemos el momento de cuando pedir

$$T^* = 0,0433(260 \text{ días laborables})$$

$$T^* = 11,26$$

$$T^* \approx 11 \text{ días laborables}$$

Ahora hallemos el costo mínimo total de inventario óptimo $CTI(y^*)$ usando la expresión (2.33).

$$CTI(y^*) = \sqrt{2hKD} + DC$$

$$CTI(y^*) = \sqrt{2(9,9)(3,8)(409)} + (409)(4282,68)$$

$$CTI(y^*) = S/ 1,751,791.54$$

Por último hallemos el punto de reorden en base a la cantidad de pedido óptima y el tiempo de reabastecimiento de 7 días.

$$R = L_e D$$

$$R = (7) \left(\frac{409}{260 \text{ días laborables}} \right)$$

$$R = 11,01$$

$$R \approx 11 \text{ unidades}$$

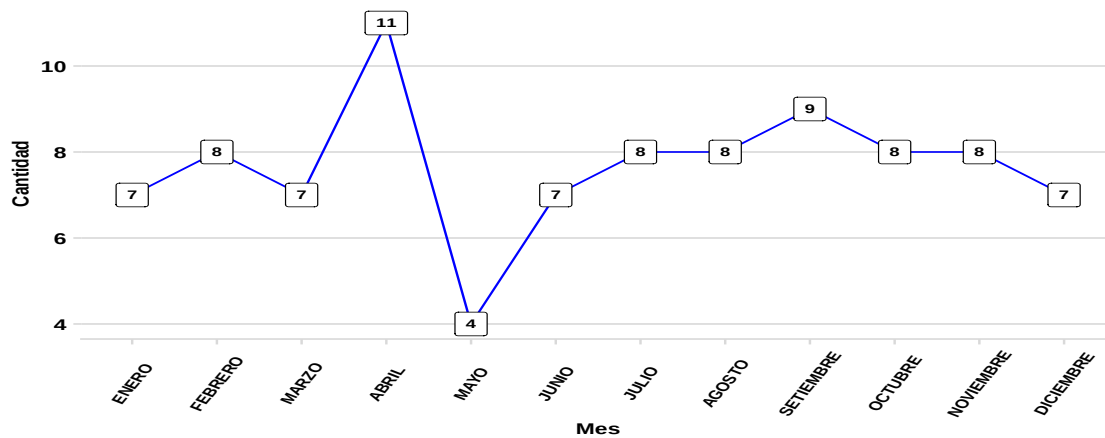
Esto quiere decir que cuando el inventario del producto llegue a 11 unidades se deben de realizar el pedido de 18 unidades, del cual el tiempo de pedido debería ser cada 11 días laborables teniendo un costo total de S/ 1,751,791.54

KIT para procedimiento quirúrgico oftálmico (pack centurion ultra balance)

El producto KIT para procedimiento quirúrgico oftálmico (pack centurion ultra balance) de FACO del área de oftalmología es utilizado para las cirugía de facoemulsificación para la extracción de la catarata, observemos la tendencia de la demanda a lo largo del año 2024.

Figura 19

Evolución demanda: KIT para procedimiento quirúrgico oftálmico (pack centurion ultra balance) de FACO - oftalmología



La Figura 19 muestra el diagrama de líneas que representa la evolución de la demanda del KIT para procedimiento quirúrgico oftálmico por mes en el año 2024, se observa que la demanda tiene un comportamiento determinístico a través de los meses del año, a excepción del mes de abril y mayo donde hubo puntos extremos, asimismo no se observa una tendencia y solo estacionariedad en el tiempo, por lo que tomando estos casos y el comportamiento de la demanda es necesario utilizar un *modelo determinístico EOQ*.

Tomando en cuenta la demanda total anual de la Tabla 12, el costo de compra de la Tabla 14, el costo de preparación estimado de la Tabla 16, el costo de retención estimado de la Tabla 19 y tiempo de reabastecimiento del pedido brindado por el área de logística se tienen los siguientes valores:

- **Demanda (D):** 92 unidades
- **Costo de compra (C):** S/ 542.60 por unidad
- **Costo de preparación (K):** S/ 17.31
- **Costo de retención (h):** S/ 13.64
- **Tiempo de entrega (L):** 3 días

Hallamos la cantidad de pedido óptima y^* mediante la expresión (2.30) de la siguiente ma-

nera

$$\begin{aligned}y^* &= \sqrt{\frac{2KD}{h}} \\y^* &= \sqrt{\frac{2(17,31)(92)}{13,64}} \\y^* &= 15,28 \\y^* &\approx 15 \text{ unidades}\end{aligned}$$

De la misma forma hallemos el intervalo de pedido óptimo T^* utilizando la expresión (2.32)

$$\begin{aligned}T^* &= \sqrt{\frac{2K}{Dh}} \\T^* &= \sqrt{\frac{2(17,31)}{(92)(13,64)}} \\T^* &= 0,1661\end{aligned}$$

Asimismo tomemos la demanda por día laborable (52 semanas * 5 días/semana = 260 días laborables) de tal forma que vemos el momento de cuando pedir

$$\begin{aligned}T^* &= 0,1661(260 \text{ días laborables}) \\T^* &= 43,19 \\T^* &\approx 43 \text{ días laborables}\end{aligned}$$

Ahora hallemos el costo mínimo total de inventario óptimo $CTI(y^*)$ usando la expresión (2.33).

$$\begin{aligned}CTI(y^*) &= \sqrt{2hKD} + DC \\CTI(y^*) &= \sqrt{2(13,64)(17,31)(92)} + (92)(542,60) \\CTI(y^*) &= S/ 50,127.63\end{aligned}$$

Por último hallemos el punto de reorden en base a la cantidad de pedido óptima y el tiempo de reabastecimiento de 3 días.

$$\begin{aligned}
 R &= L_e D \\
 R &= (3) \left(\frac{92}{260 \text{ días laborables}} \right) \\
 R &= 1,06 \\
 R &\approx 1 \text{ unidad}
 \end{aligned}
 \tag{5.1}$$

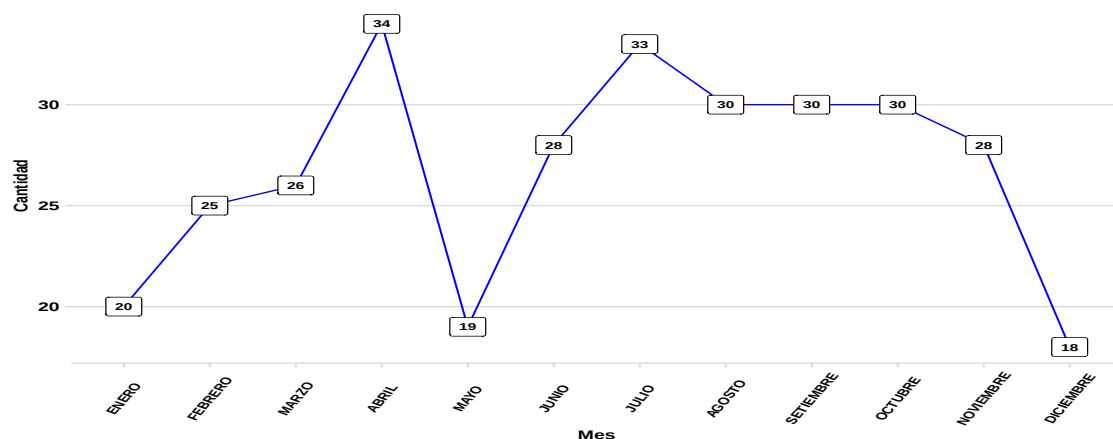
Esto quiere decir que cuando el inventario del producto llegue a 1 unidad se deben de realizar el pedido de 15 unidades, del cual el tiempo de pedido debería ser cada 43 días laborables teniendo un costo total de S/ 50,127.63

Bolsa de solución BSS BAG 500 ml

El producto bolsa de solución BSS BAG 500 ml de FACO del área de oftalmología es utilizado para las cirugía de facoemulsificación para la extracción de la catarata, primeramente observemos la tendencia de la demanda a lo largo del año 2024 en el siguiente gráfico.

Figura 20

Evolución demanda: Bolsa de solución BSS BAG 500 ml de FACO - oftalmología



La Figura 20 muestra el diagrama de líneas que representa la evolución de la demanda de la bolsa de solución BSS BAG 500 ml por mes en el año 2024, se observa que la demanda tiene un comportamiento determinístico a través de los meses del año, a excepción del mes de enero, mayo y diciembre en donde hubo puntos extremos, asimismo no se observa una tendencia y

solo estacionariedad en el tiempo, por lo que tomando estos casos y el comportamiento de la demanda es necesario utilizar un *modelo determinístico EOQ*.

Tomando en cuenta la demanda total anual de la Tabla 12, el costo de compra de la Tabla 14, el costo de preparación estimado de la Tabla 16, el costo de retención estimado de la Tabla 19 y tiempo de reabastecimiento del pedido brindado por el área de logística se tienen los siguientes valores:

- **Demanda (D):** 321 unidades
- **Costo de compra (C):** S/ 345.15 por unidad
- **Costo de preparación (K):** S/ 19.21
- **Costo de retención (h):** S/ 29.42
- **Tiempo de entrega (L):** 3 días

Hallamos la cantidad de pedido óptima y^* mediante la expresión (2.30) de la siguiente manera

$$\begin{aligned}
 y^* &= \sqrt{\frac{2KD}{h}} \\
 y^* &= \sqrt{\frac{2(19,21)(321)}{29,42}} \\
 y^* &= 20,47 \\
 y^* &\approx 20 \text{ unidades}
 \end{aligned}$$

De la misma forma hallemos el intervalo de pedido óptimo T^* utilizando la expresión (2.32)

$$\begin{aligned}
 T^* &= \sqrt{\frac{2K}{Dh}} \\
 T^* &= \sqrt{\frac{2(19,21)}{(321)(29,42)}} \\
 T^* &= 0,0638
 \end{aligned}$$

Asimismo tomemos la demanda por día laborable (52 semanas * 5 días/semana = 260 días laborables) de tal forma que vemos el momento de cuando pedir

$$T^* = 0,0638(260 \text{ días laborables})$$

$$T^* = 16,58$$

$$T^* \approx 17 \text{ días laborables}$$

Ahora hallemos el costo mínimo total de inventario óptimo $CTI(y^*)$ usando la expresión (2.33).

$$CTI(y^*) = \sqrt{2hKD} + DC$$

$$CTI(y^*) = \sqrt{2(29,42)(19,21)(321)} + (321)(345,15)$$

$$CTI(y^*) = S/ 111,395.51$$

Por último hallemos el punto de reorden en base a la cantidad de pedido óptima y el tiempo de reabastecimiento de 3 días.

$$R = L_e D$$

$$R = (3) \left(\frac{321}{260 \text{ días laborables}} \right)$$

$$R = 3,70$$

$$R \approx 4 \text{ unidades}$$

Esto quiere decir que cuando el inventario del producto llegue a 4 unidades se deben de realizar el pedido de 20 unidades, del cual el tiempo de pedido debería ser cada 17 días laborables teniendo un costo total de S/ 111,395.51

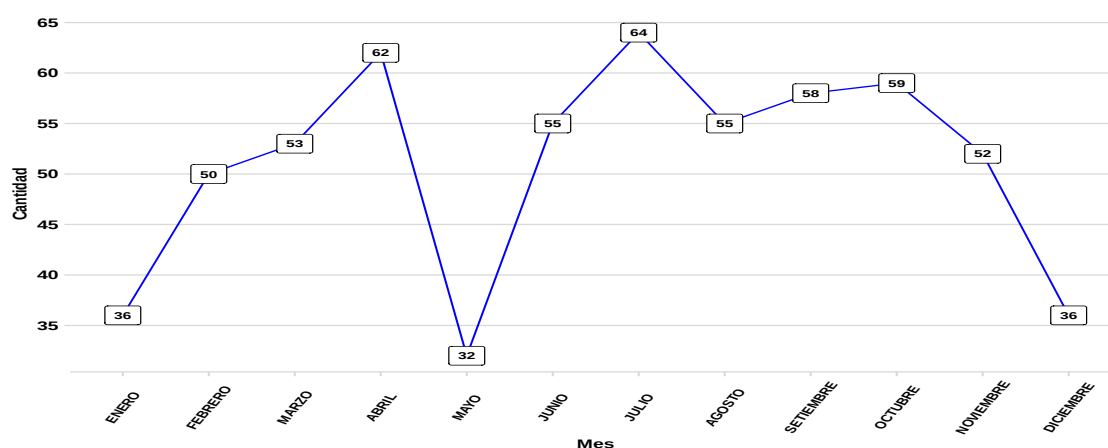
Cuchillo de hendidura CLEAR CUT HP2 2.4 mm bisel doble, intrepido sistema micro-coaxial

El producto cuchillo de hendidura CLEAR CUT HP2 2.4 mm bisel doble, intrepido sistema microcoaxial de FACO del área de oftalmología es utilizado para las cirugías de facoemulsificación y extracción manual de catarata con incisión pequeña que son las cirugías para la extracción

de la catarata, primeramente observemos la tendencia de la demanda a lo largo del año 2024 en el siguiente gráfico.

Figura 21

Evolución demanda: Cuchillo de hendidura CLEAR CUT HP2 2.4 mm bisel doble, intrepido sistema microcoaxial de FACO - oftalmología



La Figura 21 muestra el diagrama de líneas que representa la evolución de la demanda del cuchillo de hendidura CLEAR CUT HP2 2.4 mm bisel doble, intrepido sistema microcoaxial por mes en el año 2024, se observa que la demanda tiene un comportamiento determinístico a través de los meses del año, a excepción del mes de enero, mayo y diciembre en donde hubo puntos extremos, asimismo no se observa una tendencia y solo estacionariedad en el tiempo, por lo que tomando estos casos y el comportamiento de la demanda es necesario utilizar un *modelo determinístico EOQ*.

Tomando en cuenta la demanda total anual de la Tabla 12, el costo de compra de la Tabla 14, el costo de preparación estimado de la Tabla 16, el costo de retención estimado de la Tabla 19 y tiempo de reabastecimiento del pedido brindado por el área de logística se tienen los siguientes valores:

- **Demanda (D):** 612 unidades
- **Costo de compra (C):** S/ 69.80 por unidad
- **Costo de preparación (K):** S/ 9.61
- **Costo de retención (h):** S/ 6.15

■ **Tiempo de entrega (L): 3 días**

Hallamos la cantidad de pedido óptima y^* mediante la expresión (2.30) de la siguiente manera

$$\begin{aligned}y^* &= \sqrt{\frac{2KD}{h}} \\y^* &= \sqrt{\frac{2(9,61)(612)}{6,15}} \\y^* &= 43,73 \\y^* &\approx 44 \text{ unidades}\end{aligned}$$

De la misma forma hallemos el intervalo de pedido óptimo T^* utilizando la expresión (2.32)

$$\begin{aligned}T^* &= \sqrt{\frac{2K}{Dh}} \\T^* &= \sqrt{\frac{2(9,61)}{(612)(6,15)}} \\T^* &= 0,0715\end{aligned}$$

Asimismo tomemos la demanda por día laborable (52 semanas * 5 días/semana = 260 días laborables) de tal forma que vemos el momento de cuando pedir

$$\begin{aligned}T^* &= 0,0715(260 \text{ días laborables}) \\T^* &= 18,58 \\T^* &\approx 19 \text{ días laborables}\end{aligned}$$

Ahora hallemos el costo mínimo total de inventario óptimo $CTI(y^*)$ usando la expresión (2.33).

$$\begin{aligned}CTI(y^*) &= \sqrt{2hKD} + DC \\CTI(y^*) &= \sqrt{2(6,15)(9,61)(612)} + (612)(69,80) \\CTI(y^*) &= S/ 42,986.56\end{aligned}$$

Por último hallemos el punto de reorden en base a la cantidad de pedido óptima y el tiempo de reabastecimiento de 3 días.

$$R = L_e D$$

$$R = (3) \left(\frac{612}{260 \text{ días laborables}} \right)$$

$$R = 7,06$$

$$R \approx 7 \text{ unidades}$$

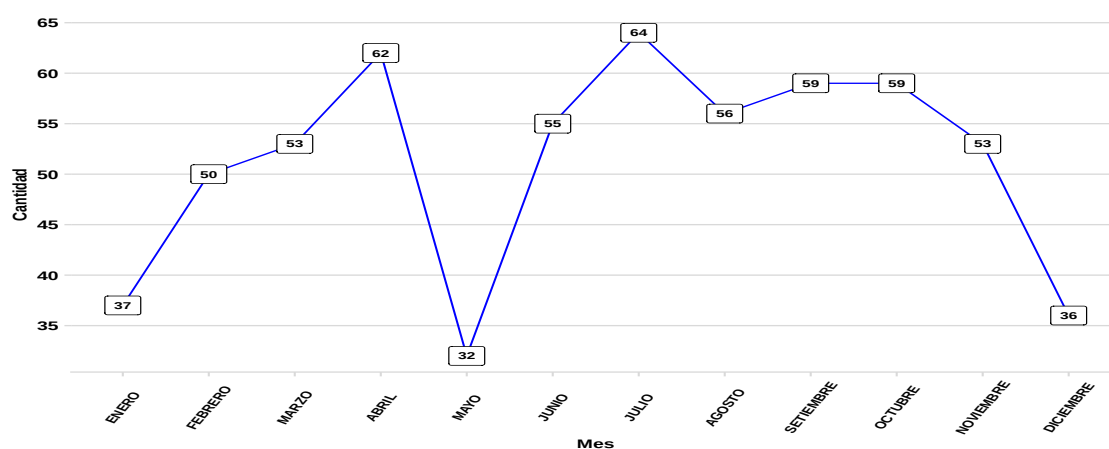
Esto quiere decir que cuando el inventario del producto llegue a 7 unidades se deben de realizar el pedido de 44 unidades, del cual el tiempo de pedido debería ser cada 19 días laborables teniendo un costo total de S/ 42,986.56

AJL VISC 1.4 % - pack solución viscoelástica para uso intraocular hialuronato sódico 14 mg/ml canula 1x27g

El producto AJL VISC 1.4 % - pack solución viscoelástica para uso intraocular de FACO del área de oftalmología es utilizado para las cirugía de facoemulsificación, extracción manual de catarata con incisión pequeña para la extracción de catarata y cirugía de válvula, primeramente observemos la tendencia de la demanda a lo largo del año 2024 en el siguiente gráfico.

Figura 22

Evolución demanda: AJL VISC 1.4% - pack solución viscoelástica para uso intraocular de FACO - oftalmología



La Figura 22 muestra el diagrama de líneas que representa la evolución de la demanda de

AJL VISC 1.4 % - pack solución viscoelástica para uso intraocular hialuronato sódico 14 mg/ml canula 1x27g por mes en el año 2024, se observa que la demanda tiene un comportamiento determinístico a través de los meses del año, a excepción del mes de enero, mayo y diciembre en donde hubo puntos extremos, asimismo no se observa una tendencia y solo estacionariedad en el tiempo, por lo que tomando estos casos y el comportamiento de la demanda es necesario utilizar un *modelo determinístico EOQ*.

Tomando en cuenta la demanda total anual de la Tabla 12, el costo de compra de la Tabla 14, el costo de preparación estimado de la Tabla 16, el costo de retención estimado de la Tabla 19 y tiempo de reabastecimiento del pedido brindado por el área de logística se tienen los siguientes valores:

- **Demanda (D):** 616 unidades
- **Costo de compra (C):** S/ 90.00 por unidad
- **Costo de preparación (K):** S/ 7.70
- **Costo de retención (h):** S/ 11.23
- **Tiempo de entrega (L):** 7 días

Hallamos la cantidad de pedido óptima y^* mediante la expresión (2.30) de la siguiente manera

$$\begin{aligned}
 y^* &= \sqrt{\frac{2KD}{h}} \\
 y^* &= \sqrt{\frac{2(7,7)(616)}{11,23}} \\
 y^* &= 29,06 \\
 y^* &\approx 29 \text{ unidades}
 \end{aligned}$$

De la misma forma hallemos el intervalo de pedido óptimo T^* utilizando la expresión (2.32)

$$T^* = \sqrt{\frac{2K}{Dh}}$$

$$T^* = \sqrt{\frac{2(7,7)}{(616)(11,23)}}$$

$$T^* = 0,0472$$

Asimismo tomemos la demanda por día laborable (52 semanas * 5 días/semana = 260 días laborables) de tal forma que vemos el momento de cuando pedir

$$T^* = 0,0472(260 \text{ días laborables})$$

$$T^* = 12,27$$

$$T^* \approx 12 \text{ días laborables}$$

Ahora hallemos el costo mínimo total de inventario óptimo $CTI(y^*)$ usando la expresión (2.33).

$$CTI(y^*) = \sqrt{2hKD} + DC$$

$$CTI(y^*) = \sqrt{2(11,23)(7,7)(616)} + (616)(90)$$

$$CTI(y^*) = S/ 55,766.39$$

Por último hallemos el punto de reorden en base a la cantidad de pedido óptima y el tiempo de reabastecimiento de 7 días.

$$R = L_e D$$

$$R = (7) \left(\frac{616}{260 \text{ días laborables}} \right)$$

$$R = 16,58$$

$$R \approx 17 \text{ unidades}$$

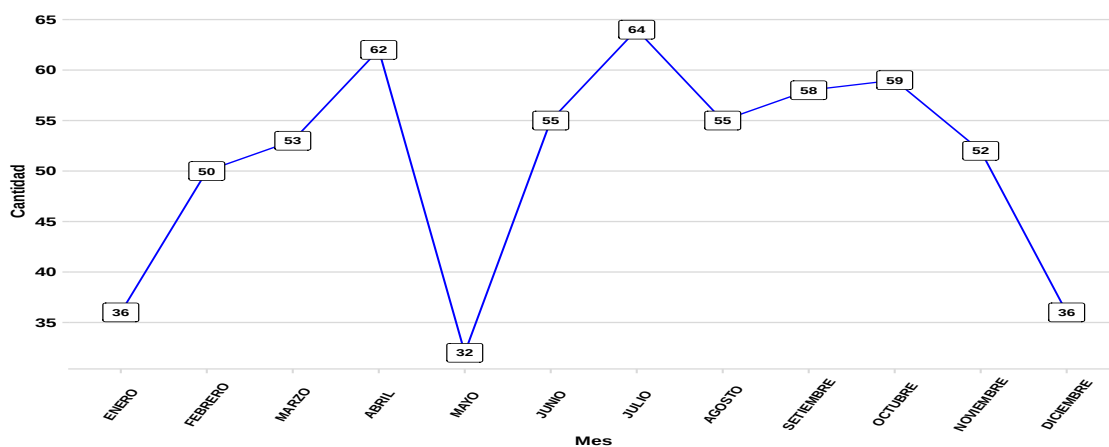
Esto quiere decir que cuando el inventario del producto llegue a 17 unidades se deben de realizar el pedido de 29 unidades, del cual el tiempo de pedido debería ser cada 12 días laborables teniendo un costo total de S/ 55,766.39

Cuchillo lateral CLEAR CUT doble bisel 1.2 mm angulado

El producto cuchillo lateral CLEAR CUT doble bisel 1.2 mm angulado de insumos generales del área de oftalmología es utilizado para las cirugía de facoemulsificación y extracción manual de catarata con incisión pequeña que son las cirugías para la extracción de catarata, primeramente observemos la tendencia de la demanda a lo largo del año 2024 en el siguiente gráfico.

Figura 23

Evolución demanda: Cuchillo lateral CLEAR CUT doble bisel 1.2 mm angulado de insumos generales - oftalmología



La Figura 23 muestra el diagrama de líneas que representa la evolución de la demanda del cuchillo lateral CLEAR CUT doble bisel 1.2 mm angulado por mes en el año 2024, se observa que la demanda tiene un comportamiento determinístico a través de los meses del año, a excepción del mes de enero, mayo y diciembre en donde hubo puntos extremos, asimismo no se observa una tendencia y solo estacionariedad en el tiempo, por lo que tomando estos casos y el comportamiento de la demanda es necesario utilizar un *modelo determinístico EOQ*.

Tomando en cuenta la demanda total anual de la Tabla 12, el costo de compra de la Tabla 14, el costo de preparación estimado de la Tabla 16, el costo de retención estimado de la Tabla 19 y tiempo de reabastecimiento del pedido brindado por el área de logística se tienen los siguientes valores:

- **Demanda (D):** 612 unidades
- **Costo de compra (C):** S/ 72.81 por unidad

- **Costo de preparación (K):** S/ 3.80
- **Costo de retención (h):** S/ 11.50
- **Tiempo de entrega (L):** 3 días

Hallamos la cantidad de pedido óptima y^* mediante la expresión (2.30) de la siguiente manera

$$\begin{aligned}
 y^* &= \sqrt{\frac{2KD}{h}} \\
 y^* &= \sqrt{\frac{2(3,8)(612)}{11,5}} \\
 y^* &= 20,11 \\
 y^* &\approx 20 \text{ unidades}
 \end{aligned}$$

De la misma forma hallemos el intervalo de pedido óptimo T^* utilizando la expresión (2.32)

$$\begin{aligned}
 T^* &= \sqrt{\frac{2K}{Dh}} \\
 T^* &= \sqrt{\frac{2(3,8)}{(612)(11,5)}} \\
 T^* &= 0,0329
 \end{aligned}$$

Asimismo tomemos la demanda por día laborable (52 semanas * 5 días/semana = 260 días laborables) de tal forma que vemos el momento de cuando pedir

$$\begin{aligned}
 T^* &= 0,0329(260 \text{ días laborables}) \\
 T^* &= 8,54 \\
 T^* &\approx 9 \text{ días laborables}
 \end{aligned}$$

Ahora hallemos el costo mínimo total de inventario óptimo $CTI(y^*)$ usando la expresión (2.33).

$$CTI(y^*) = \sqrt{2hKD} + DC$$

$$CTI(y^*) = \sqrt{2(11,5)(3,8)(612) + (612)(72,81)}$$

$$CTI(y^*) = S/ 44,791.00$$

Por último hallemos el punto de reorden en base a la cantidad de pedido óptima y el tiempo de reabastecimiento de 3 días.

$$R = L_e D$$

$$R = (3) \left(\frac{612}{260 \text{ días laborables}} \right)$$

$$R = 7,06$$

$$R \approx 7 \text{ unidades}$$

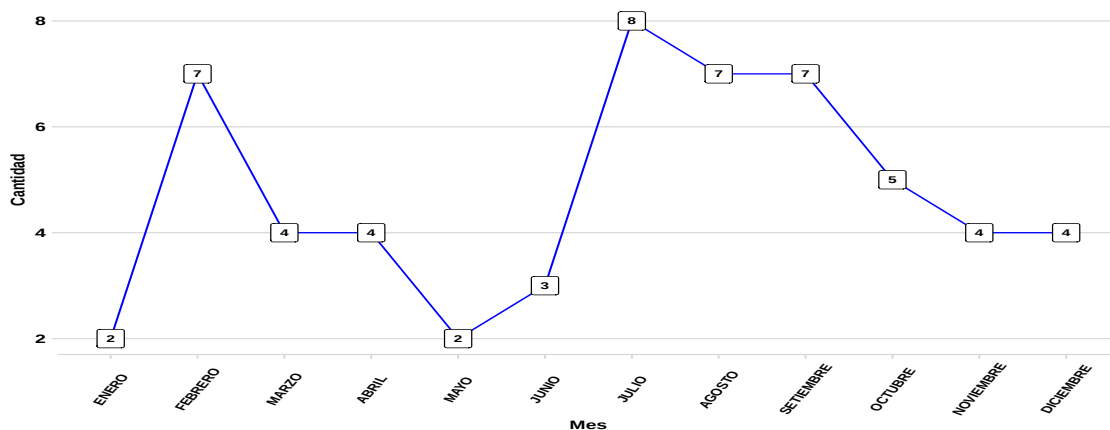
Esto quiere decir que cuando el inventario del producto llegue a 7 unidades se deben de realizar el pedido de 20 unidades, del cual el tiempo de pedido debería ser cada 9 días laborables teniendo un costo total de S/ 44,791.00

Solución de riboflavina VIBEX RAPID 0.1 % isotónico jeringa de 1.5 ml

El producto solución de riboflavina VIBEX RAPID 0.1 % isotónico jeringa de 1.5 ml de CROSSLINKING del área de oftalmología es utilizado para las cirugías de queratocono, primeramente observemos la tendencia de la demanda a lo largo del año 2024 en el siguiente gráfico.

Figura 24

Evolución demanda: Solución de riboflavina VIBEX RAPID 0.1 % de CROSSLINKING - oftalmología



La Figura 24 muestra el diagrama de líneas que representa la evolución de la demanda de la solución de riboflavina VIBEX RAPID 0.1 % por mes en el año 2024, se observa que la demanda tiene un comportamiento determinístico y estacionario sin tendencia a través de los meses del año, por lo que tomando estos casos y el comportamiento de la demanda es necesario utilizar un *modelo determinístico EOQ*.

Tomando en cuenta la demanda total anual de la Tabla 12, el costo de compra de la Tabla 14, el costo de preparación estimado de la Tabla 16, el costo de retención estimado de la Tabla 19 y tiempo de reabastecimiento del pedido brindado por el área de logística se tienen los siguientes valores:

- **Demanda (D):** 57 unidades
- **Costo de compra (C):** S/ 362.94 por unidad
- **Costo de preparación (K):** S/ 1.90
- **Costo de retención (h):** S/ 6.42
- **Tiempo de entrega (L):** 7 días

Hallamos la cantidad de pedido óptima y^* mediante la expresión (2.30) de la siguiente manera

$$\begin{aligned}
 y^* &= \sqrt{\frac{2KD}{h}} \\
 y^* &= \sqrt{\frac{2(1,9)(57)}{6,42}} \\
 y^* &= 5,81 \\
 y^* &\approx 6 \text{ unidades}
 \end{aligned}$$

De la misma forma hallemos el intervalo de pedido óptimo T^* utilizando la expresión (2.32)

$$\begin{aligned}
 T^* &= \sqrt{\frac{2K}{Dh}} \\
 T^* &= \sqrt{\frac{2(1,9)}{(57)(6,42)}} \\
 T^* &= 0,1019
 \end{aligned}$$

Asimismo tomemos la demanda por día laborable (52 semanas * 5 días/semana = 260 días laborables) de tal forma que vemos el momento de cuando pedir

$$T^* = 0,1019(260 \text{ días laborables})$$

$$T^* = 26,49$$

$$T^* \approx 26 \text{ días laborables}$$

Ahora hallemos el costo mínimo total de inventario óptimo $CTI(y^*)$ usando la expresión (2.33).

$$CTI(y^*) = \sqrt{2hKD} + DC$$

$$CTI(y^*) = \sqrt{2(6,42)(1,9)(57)} + (57)(362,94)$$

$$CTI(y^*) = S/ 20,724.87$$

Por último hallemos el punto de reorden en base a la cantidad de pedido óptima y el tiempo de reabastecimiento de 7 días.

$$R = L_e D$$

$$R = (7) \left(\frac{57}{260 \text{ días laborables}} \right)$$

$$R = 1,53$$

$$R \approx 2 \text{ unidades}$$

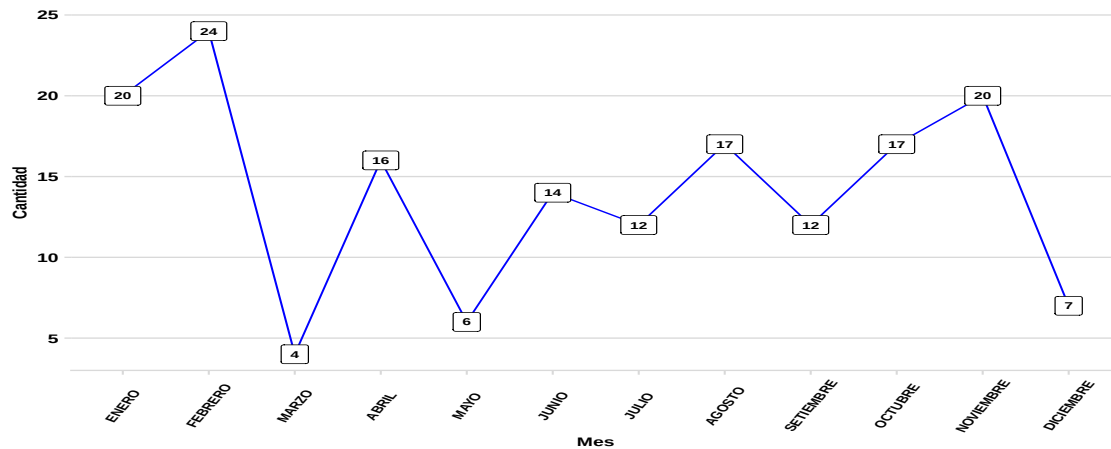
Esto quiere decir que cuando el inventario del producto llegue a 2 unidades se deben de realizar el pedido de 6 unidades, del cual el tiempo de pedido debería ser cada 26 días laborables teniendo un costo total de S/ 20,724.87

Anterior chamber cannula 27g x 9mm BEND

El producto anterior chamber cannula 27g x 9mm BEND de INLASER del área de oftalmología es utilizado para las cirugías refractivas LASIK, Presbyond y retoques LASIK realizados, observemos la tendencia de la demanda a lo largo del año 2024 en el siguiente gráfico.

Figura 25

Evolución demanda: Anterior chamber cannula 27g x 9mm BEND de INLASER - oftalmología



La Figura 25 muestra el diagrama de líneas que representa la evolución de la demanda del anterior chamber cannula 27g x 9mm BEND por mes en el año 2024, se observa que la demanda tiene un comportamiento determinístico y estacionario sin tendencia a través de los meses del año, por lo que tomando estos casos y el comportamiento de la demanda es necesario utilizar un *modelo determinístico EOQ*.

Tomando en cuenta la demanda total anual de la Tabla 12, el costo de compra de la Tabla 14, el costo de preparación estimado de la Tabla 16, el costo de retención estimado de la Tabla 19 y tiempo de reabastecimiento del pedido brindado por el área de logística se tienen los siguientes valores:

- **Demanda (D):** 169 unidades
- **Costo de compra (C):** S/ 16.00 por unidad
- **Costo de preparación (K):** S/ 7.70
- **Costo de retención (h):** S/ 12.30
- **Tiempo de entrega (L):** 7 días

Hallamos la cantidad de pedido óptima y^* mediante la expresión (2.30) de la siguiente manera

$$y^* = \sqrt{\frac{2KD}{h}}$$

$$y^* = \sqrt{\frac{2(7,7)(169)}{12,3}}$$

$$y^* = 14,55$$

$$y^* \approx 15 \text{ unidades}$$

De la misma forma hallemos el intervalo de pedido óptimo T^* utilizando la expresión (2.32)

$$T^* = \sqrt{\frac{2K}{Dh}}$$

$$T^* = \sqrt{\frac{2(7,7)}{(169)(12,3)}}$$

$$T^* = 0,0861$$

Asimismo tomemos la demanda por día laborable (52 semanas * 5 días/semana = 260 días laborables) de tal forma que vemos el momento de cuando pedir

$$T^* = 0,0861(260 \text{ días laborables})$$

$$T^* = 22,38$$

$$T^* \approx 22 \text{ días laborables}$$

Ahora hallemos el costo mínimo total de inventario óptimo $CTI(y^*)$ usando la expresión (2.33).

$$CTI(y^*) = \sqrt{2hKD} + DC$$

$$CTI(y^*) = \sqrt{2(12,3)(7,7)(169)} + (169)(16)$$

$$CTI(y^*) = S/ 2,882.92$$

Por último hallemos el punto de reorden en base a la cantidad de pedido óptima y el tiempo de reabastecimiento de 7 días.

$$R = L_e D$$

$$R = (7) \left(\frac{169}{260 \text{ días laborables}} \right)$$

$$R = 4,55$$

$$R \approx 5 \text{ unidades}$$

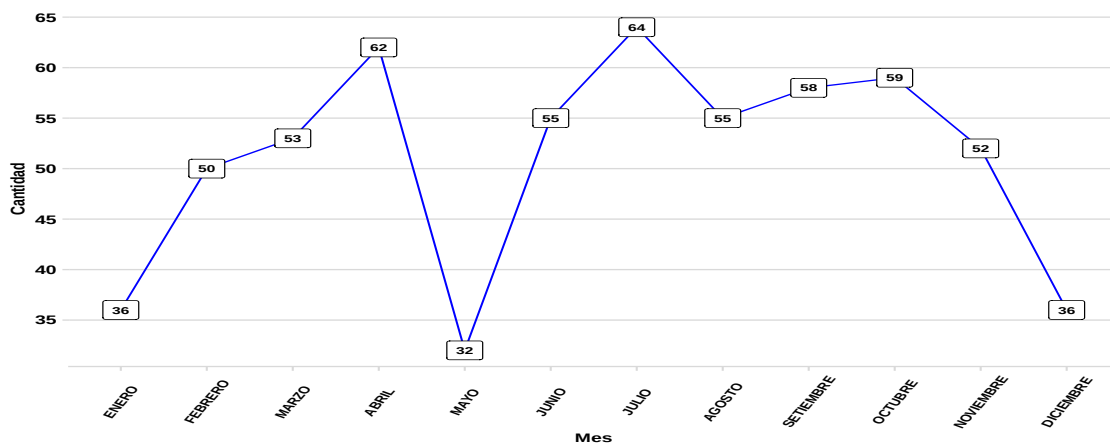
Esto quiere decir que cuando el inventario del producto llegue a 5 unidades se deben de realizar el pedido de 15 unidades, del cual el tiempo de pedido debería ser cada 22 días laborables teniendo un costo total de S/ 2,882.92

Canula para cistotoma formada 27g

El producto canula para cistotoma formada 27g de FACO del área de oftalmología es utilizado para la cirugía de facoemulsificación y extracción manual de catarata con incisión pequeña que son las cirugías para la extracción de catarata, primeramente observemos la tendencia de la demanda a lo largo del año 2024 en el siguiente gráfico.

Figura 26

Evolución demanda: canula para cistotoma formada 27g de FACO - oftalmología



La Figura 26 muestra el diagrama de líneas que representa la evolución de la demanda de la canula para cistotoma formada 27g por mes en el año 2024, se observa que la demanda tiene un comportamiento determinístico y estacionario sin tendencia a través de los meses del año, por lo que tomando estos casos y el comportamiento de la demanda es necesario utilizar un *modelo determinístico EOQ*.

Tomando en cuenta la demanda total anual de la Tabla 12, el costo de compra de la Tabla 14, el costo de preparación estimado de la Tabla 16, el costo de retención estimado de la Tabla 19 y

tiempo de reabastecimiento del pedido brindado por el área de logística se tienen los siguientes valores:

- **Demanda (D):** 612 unidades
- **Costo de compra (C):** S/ 143.00 por unidad
- **Costo de preparación (K):** S/ 9.61
- **Costo de retención (h):** S/ 8.56
- **Tiempo de entrega (L):** 7 días

Hallamos la cantidad de pedido óptima y^* mediante la expresión (2.30) de la siguiente manera

$$\begin{aligned}
 y^* &= \sqrt{\frac{2KD}{h}} \\
 y^* &= \sqrt{\frac{2(9,61)(612)}{8,56}} \\
 y^* &= 37,07 \\
 y^* &\approx 37 \text{ unidades}
 \end{aligned}$$

De la misma forma hallemos el intervalo de pedido óptimo T^* utilizando la expresión (2.32)

$$\begin{aligned}
 T^* &= \sqrt{\frac{2K}{Dh}} \\
 T^* &= \sqrt{\frac{2(9,61)}{(612)(8,56)}} \\
 T^* &= 0,0606
 \end{aligned}$$

Asimismo tomemos la demanda por día laborable (52 semanas * 5 días/semana = 260 días laborables) de tal forma que vemos el momento de cuando pedir

$$\begin{aligned}
 T^* &= 0,0606(260 \text{ días laborables}) \\
 T^* &= 15,75 \\
 T^* &\approx 16 \text{ días laborables}
 \end{aligned}$$

Ahora hallemos el costo mínimo total de inventario óptimo $CTI(y^*)$ usando la expresión (2.33).

$$CTI(y^*) = \sqrt{2hKD} + DC$$

$$CTI(y^*) = \sqrt{2(8,56)(9,61)(612)} + (612)(143)$$

$$CTI(y^*) = S/ 87,833.31$$

Por último hallemos el punto de reorden en base a la cantidad de pedido óptima y el tiempo de reabastecimiento de 7 días.

$$R = L_e D$$

$$R = (7) \left(\frac{612}{260 \text{ días laborables}} \right)$$

$$R = 16,48$$

$$R \approx 16 \text{ unidades}$$

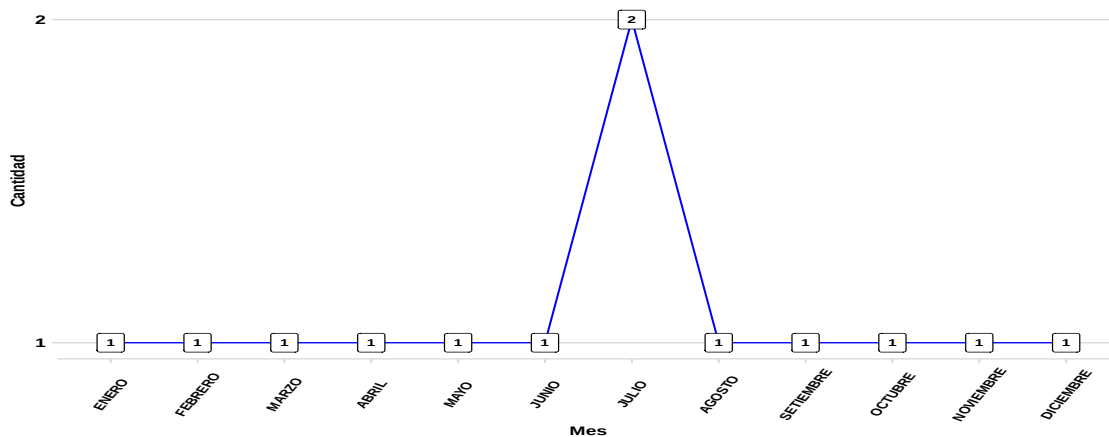
Esto quiere decir que cuando el inventario del producto llegue a 16 unidades se deben de realizar el pedido de 37 unidades, del cual el tiempo de pedido debería ser cada 16 días laborables teniendo un costo total de S/ 87,833.31

Toner TNP80Y yellow para Konica Minolta BIZHUB C-3320i

El producto toner TNP80Y yellow para Konica Minolta de Tintas del área de oftalmología es utilizado para las impresiones realizadas en el área de exámenes especiales en tomografías realizadas, primeramente observemos la tendencia de la demanda a lo largo del año 2024 en el siguiente gráfico.

Figura 27

Evolución demanda: Toner TNP80Y yellow para Konica Minolta de Tintas - oftalmología



La Figura 27 muestra el diagrama de líneas que representa la evolución de la demanda del toner TNP80Y yellow por mes en el año 2024, se observa que la demanda tiene un comportamiento determinístico y sin estacionariedad ya que parece constante en los meses sin tendencia, tomando estos casos y el comportamiento de la demanda es necesario utilizar un *modelo determinístico EOQ*.

Tomando en cuenta la demanda total anual de la Tabla 12, el costo de compra de la Tabla 14, el costo de preparación estimado de la Tabla 16, el costo de retención estimado de la Tabla 19 y tiempo de reabastecimiento del pedido brindado por el área de logística se tienen los siguientes valores:

- **Demanda (D):** 13 unidades
- **Costo de compra (C):** S/ 720.00 por unidad
- **Costo de preparación (K):** S/ 11.51
- **Costo de retención (h):** S/ 7.76
- **Tiempo de entrega (L):** 1 día

Hallamos la cantidad de pedido óptima y^* mediante la expresión (2.30) de la siguiente manera

$$y^* = \sqrt{\frac{2KD}{h}}$$

$$y^* = \sqrt{\frac{2(11,51)(13)}{7,76}}$$

$$y^* = 6,21$$

$$y^* \approx 6 \text{ unidades}$$

De la misma forma hallemos el intervalo de pedido óptimo T^* utilizando la expresión (2.32)

$$T^* = \sqrt{\frac{2K}{Dh}}$$

$$T^* = \sqrt{\frac{2(11,51)}{(13)(7,76)}}$$

$$T^* = 0,4777$$

Asimismo tomemos la demanda por día laborable (52 semanas * 5 días/semana = 260 días laborables) de tal forma que vemos el momento de cuando pedir

$$T^* = 0,4777(260 \text{ días laborables})$$

$$T^* = 124,2$$

$$T^* \approx 124 \text{ días laborables}$$

Ahora hallemos el costo mínimo total de inventario óptimo $CTI(y^*)$ usando la expresión (2.33).

$$CTI(y^*) = \sqrt{2hKD} + DC$$

$$CTI(y^*) = \sqrt{2(7,76)(11,51)(13)} + (13)(720)$$

$$CTI(y^*) = S/ 9,408.19$$

Por último hallemos el punto de reorden en base a la cantidad de pedido óptima y el tiempo de reabastecimiento de 1 día.

$$R = L_e D$$

$$R = (1) \left(\frac{13}{260 \text{ días laborables}} \right)$$

$$R = 0,05$$

$$R \approx 0 \text{ unidades}$$

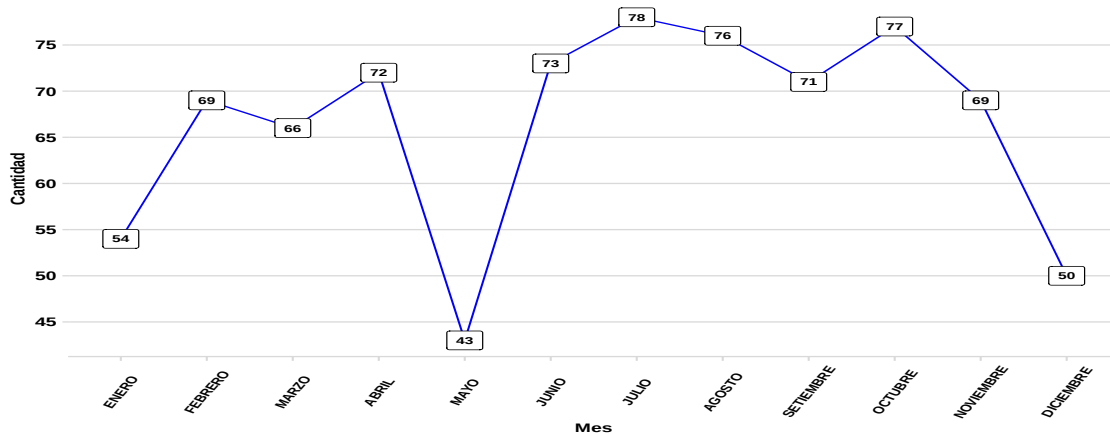
Esto quiere decir que cuando el inventario del producto llegue a 0 unidades se deben de realizar el pedido de 6 unidades, del cual el tiempo de pedido debería ser cada 124 días laborables teniendo un costo total de S/ 9,408.19

Campo quirúrgico para ojos desechable 100 cm x 70 cm

El producto campo quirúrgico para ojos desechable 100 cm x 70 cm de Insumos generales del área de oftalmología es utilizado para las cirugías oftalmológicas realizadas en general, primeramente observemos la tendencia de la demanda a lo largo del año 2024 en el siguiente gráfico.

Figura 28

Evolución demanda: Campo quirúrgico para ojos desechable 100 cm x 70 cm de Insumos generales - oftalmología



La Figura 28 muestra el diagrama de líneas que representa la evolución de la demanda del campo quirúrgico para ojos desechable 100 cm x 70 cm por mes en el año 2024, se observa que la demanda tiene un comportamiento determinístico a través de los meses del año, a excepción del mes de enero, mayo y diciembre en donde hubo puntos extremos bajos, asimismo no se observa una tendencia y solo estacionariedad en el tiempo, por lo que tomando estos casos y el comportamiento de la demanda es necesario utilizar un *modelo determinístico EOQ*.

Tomando en cuenta la demanda total anual de la Tabla 12, el costo de compra de la Tabla 14,

el costo de preparación estimado de la Tabla 16, el costo de retención estimado de la Tabla 19 y tiempo de reabastecimiento del pedido brindado por el área de logística se tienen los siguientes valores:

- **Demanda (D):** 798 unidades
- **Costo de compra (C):** S/ 15.59 por unidad
- **Costo de preparación (K):** S/ 13.50
- **Costo de retención (h):** S/ 19.79
- **Tiempo de entrega (L):** 4 días

Hallamos la cantidad de pedido óptima y^* mediante la expresión (2.30) de la siguiente manera

$$\begin{aligned}
 y^* &= \sqrt{\frac{2KD}{h}} \\
 y^* &= \sqrt{\frac{2(13,5)(798)}{19,79}} \\
 y^* &= 33,00 \\
 y^* &\approx 33 \text{ unidades}
 \end{aligned}$$

De la misma forma hallemos el intervalo de pedido óptimo T^* utilizando la expresión (2.32)

$$\begin{aligned}
 T^* &= \sqrt{\frac{2K}{Dh}} \\
 T^* &= \sqrt{\frac{2(13,5)}{(798)(19,79)}} \\
 T^* &= 0,0413
 \end{aligned}$$

Asimismo tomemos la demanda por día laborable (52 semanas * 5 días/semana = 260 días laborables) de tal forma que vemos el momento de cuando pedir

$$T^* = 0,0413(260 \text{ días laborables})$$

$$T^* = 10,75$$

$$T^* \approx 11 \text{ días laborables}$$

Ahora hallemos el costo mínimo total de inventario óptimo $CTI(y^*)$ usando la expresión (2.33).

$$CTI(y^*) = \sqrt{2hKD} + DC$$

$$CTI(y^*) = \sqrt{2(19,79)(13,5)(798)} + (798)(15,59)$$

$$CTI(y^*) = S/ 13,093.81$$

Por último hallemos el punto de reorden en base a la cantidad de pedido óptima y el tiempo de reabastecimiento de 4 días.

$$R = L_e D$$

$$R = (4) \left(\frac{798}{260 \text{ días laborables}} \right)$$

$$R = 12,28$$

$$R \approx 12 \text{ unidades}$$

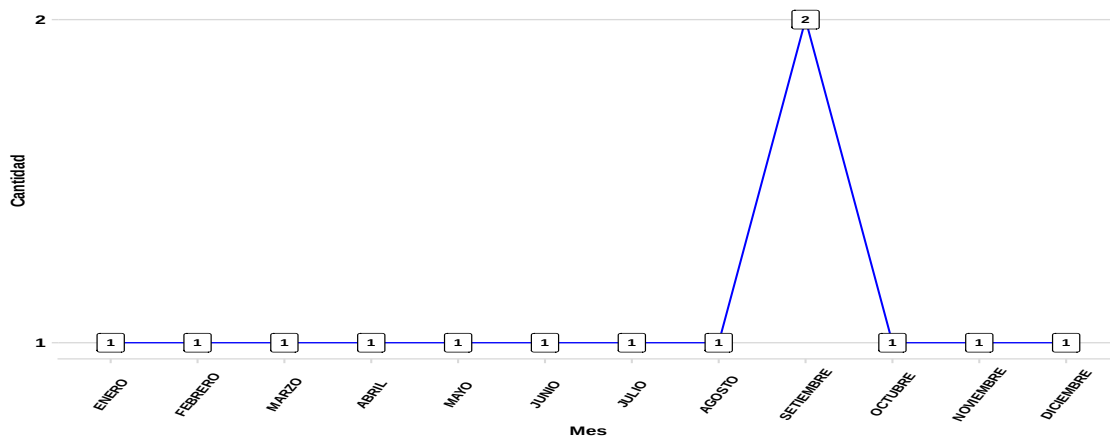
Esto quiere decir que cuando el inventario del producto llegue a 12 unidades se deben de realizar el pedido de 33 unidades, del cual el tiempo de pedido debería ser cada 11 días laborables teniendo un costo total de S/ 13,093.81

Toner TNP80C cyan para Konica Minolta BIZHUB C-3320i

El producto toner TNP80C cyan para Konica Minolta de Tintas del área de oftalmología es utilizado para las impresiones realizadas en el área de exámenes especiales en tomografías realizadas, primeramente observemos la tendencia de la demanda a lo largo del año 2024 en el siguiente gráfico.

Figura 29

Evolución demanda: Toner TNP80C cyan para Konica Minolta de Tintas - oftalmología



La Figura 29 muestra el diagrama de líneas que representa la evolución de la demanda del toner TNP80C cyan por mes en el año 2024, se observa que la demanda tiene un comportamiento determinístico y sin estacionariedad ya que parece constante en los meses sin tendencia, tomando estos casos y el comportamiento de la demanda es necesario utilizar un *modelo determinístico EOQ*.

Tomando en cuenta la demanda total anual de la Tabla 12, el costo de compra de la Tabla 14, el costo de preparación estimado de la Tabla 16, el costo de retención estimado de la Tabla 19 y tiempo de reabastecimiento del pedido brindado por el área de logística se tienen los siguientes valores:

- **Demanda (D):** 13 unidades
- **Costo de compra (C):** S/ 715.00 por unidad
- **Costo de preparación (K):** S/ 15.41
- **Costo de retención (h):** S/ 7.76
- **Tiempo de entrega (L):** 1 día

Hallamos la cantidad de pedido óptima y^* mediante la expresión (2.30) de la siguiente manera

$$y^* = \sqrt{\frac{2KD}{h}}$$

$$y^* = \sqrt{\frac{2(15,41)(13)}{7,76}}$$

$$y^* = 7,19$$

$$y^* \approx 7 \text{ unidades}$$

De la misma forma hallemos el intervalo de pedido óptimo T^* utilizando la expresión (2.32)

$$T^* = \sqrt{\frac{2K}{Dh}}$$

$$T^* = \sqrt{\frac{2(15,41)}{(13)(7,76)}}$$

$$T^* = 0,5527$$

Asimismo tomemos la demanda por día laborable (52 semanas * 5 días/semana = 260 días laborables) de tal forma que vemos el momento de cuando pedir

$$T^* = 0,5527(260 \text{ días laborables})$$

$$T^* = 143,71$$

$$T^* \approx 144 \text{ días laborables}$$

Ahora hallemos el costo mínimo total de inventario óptimo $CTI(y^*)$ usando la expresión (2.33).

$$CTI(y^*) = \sqrt{2hKD} + DC$$

$$CTI(y^*) = \sqrt{2(7,76)(15,41)(13)} + (13)(715)$$

$$CTI(y^*) = S/ 9,350.76$$

Por último hallemos el punto de reorden en base a la cantidad de pedido óptima y el tiempo de reabastecimiento de 1 día.

$$R = L_e D$$

$$R = (1) \left(\frac{13}{260 \text{ días laborables}} \right)$$

$$R = 0,05$$

$$R \approx 0 \text{ unidades}$$

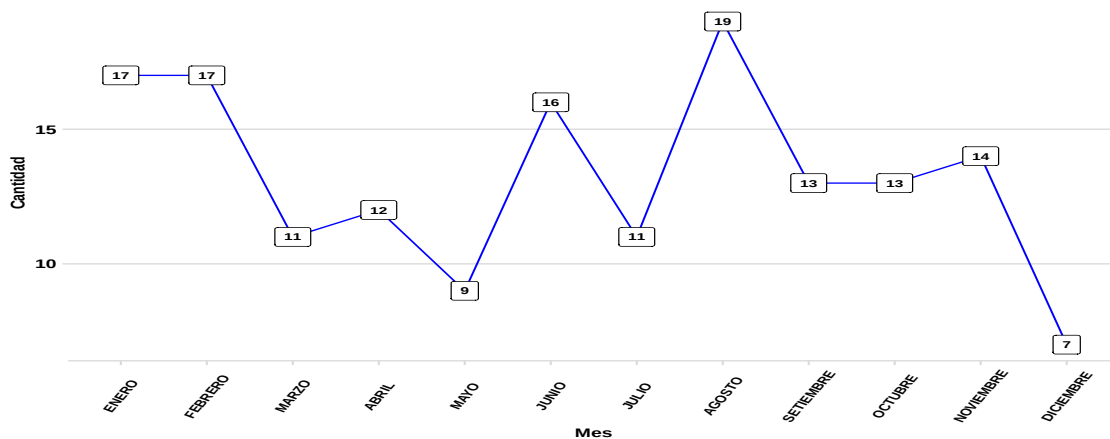
Esto quiere decir que cuando el inventario del producto llegue a 0 unidades se deben de realizar el pedido de 7 unidades, del cual el tiempo de pedido debería ser cada 144 días laborables teniendo un costo total de S/ 9,350.76

Lentes de contacto - AIR optix día y noche

El producto lentes de contacto - AIR optix día y noche de Insumos generales del área de oftalmología es utilizado generalmente en las cirugías de Pterigion usado para remover la carnosidad en la conjuntiva que llega a la córnea, también utilizado en algunas cirugías de catarata si es necesario, primeramente observemos la tendencia de la demanda a lo largo del año 2024 en el siguiente gráfico.

Figura 30

Evolución demanda: Lentes de contacto - AIR optix día y noche de Insumos generales - oftalmología



La Figura 30 muestra el diagrama de líneas que representa la evolución de la demanda del campo quirúrgico para ojos desechable 100 cm x 70 cm por mes en el año 2024, se observa que la demanda tiene un comportamiento determinístico a través de los meses del año, a excepción del mes de diciembre en donde se encuentra el valor más bajo, asimismo no se observa una tendencia y solo estacionariedad en el tiempo, por lo que tomando estos casos y el comportamiento de la demanda es necesario utilizar un *modelo determinístico EOQ*.

Tomando en cuenta la demanda total anual de la Tabla 12, el costo de compra de la Tabla 14, el costo de preparación estimado de la Tabla 16, el costo de retención estimado de la Tabla 19 y tiempo de reabastecimiento del pedido brindado por el área de logística se tienen los siguientes valores:

- **Demanda (D):** 159 unidades
- **Costo de compra (C):** S/ 143.37 por unidad
- **Costo de preparación (K):** S/ 1.90
- **Costo de retención (h):** S/ 6.42
- **Tiempo de entrega (L):** 3 días

Hallamos la cantidad de pedido óptima y^* mediante la expresión (2.30) de la siguiente manera

$$\begin{aligned}
 y^* &= \sqrt{\frac{2KD}{h}} \\
 y^* &= \sqrt{\frac{2(1,9)(159)}{6,42}} \\
 y^* &= 9,7 \\
 y^* &\approx 10 \text{ unidades}
 \end{aligned}$$

De la misma forma hallemos el intervalo de pedido óptimo T^* utilizando la expresión (2.32)

$$\begin{aligned}
 T^* &= \sqrt{\frac{2K}{Dh}} \\
 T^* &= \sqrt{\frac{2(1,9)}{(159)(6,42)}} \\
 T^* &= 0,0610
 \end{aligned}$$

Asimismo tomemos la demanda por día laborable (52 semanas * 5 días/semana = 260 días laborables) de tal forma que vemos el momento de cuando pedir

$$T^* = 0,0610(260 \text{ días laborables})$$

$$T^* = 15,86$$

$$T^* \approx 16 \text{ días laborables}$$

Ahora hallemos el costo mínimo total de inventario óptimo $CTI(y^*)$ usando la expresión (2.33).

$$CTI(y^*) = \sqrt{2hKD} + DC$$

$$CTI(y^*) = \sqrt{2(6,42)(1,9)(159)} + (159)(143,37)$$

$$CTI(y^*) = S/ 22,858.11$$

Por último hallemos el punto de reorden en base a la cantidad de pedido óptima y el tiempo de reabastecimiento de 3 días.

$$R = L_e D$$

$$R = (3) \left(\frac{159}{260 \text{ días laborables}} \right)$$

$$R = 1,83$$

$$R \approx 2 \text{ unidades}$$

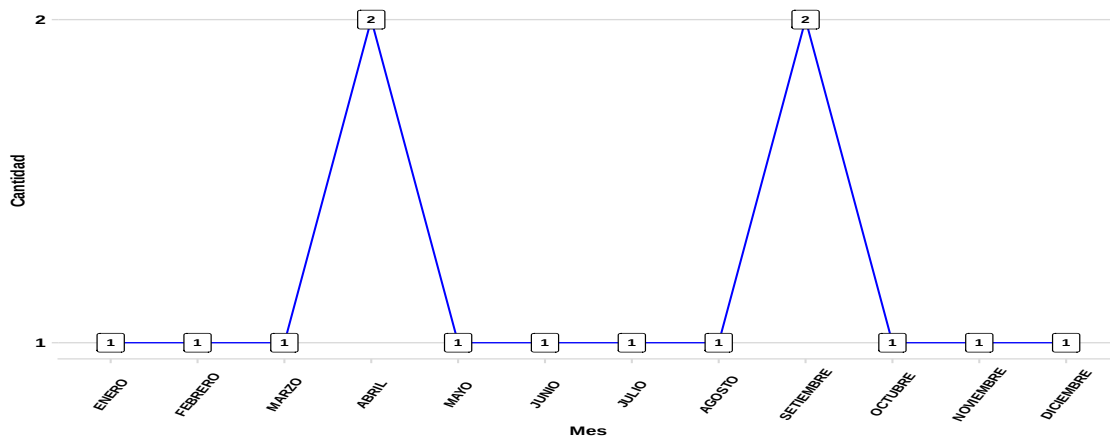
Esto quiere decir que cuando el inventario del producto llegue a 2 unidades se deben de realizar el pedido de 10 unidades, del cual el tiempo de pedido debería ser cada 16 días laborables teniendo un costo total de S/ 22,858.11

Toner Konica Minolta BIZHUB C-3320i Magenta

El producto toner Konica Minolta BIZHUB C-3320i magenta de Tintas del área de oftalmología es utilizado para las impresiones realizadas en el área de exámenes especiales en tomografías realizadas, primeramente observemos la tendencia de la demanda a lo largo del año 2024 en el siguiente gráfico.

Figura 31

Evolución demanda: Toner Konica Minolta BIZHUB C-3320i de Tintas - oftalmología



La Figura 31 muestra el diagrama de líneas que representa la evolución de la demanda del toner TNP80C cyan por mes en el año 2024, se observa que la demanda tiene un comportamiento determinístico y sin estacionariedad ya que parece constante en los meses sin tendencia, tomando estos casos y el comportamiento de la demanda es necesario utilizar un *modelo determinístico EOQ*.

Tomando en cuenta la demanda total anual de la Tabla 12, el costo de compra de la Tabla 14, el costo de preparación estimado de la Tabla 16, el costo de retención estimado de la Tabla 19 y tiempo de reabastecimiento del pedido brindado por el área de logística se tienen los siguientes valores:

- **Demanda (D):** 14 unidades
- **Costo de compra (C):** S/ 715.00 por unidad
- **Costo de preparación (K):** S/ 9.61
- **Costo de retención (h):** S/ 7.76
- **Tiempo de entrega (L):** 1 día

Hallamos la cantidad de pedido óptima y^* mediante la expresión (2.30) de la siguiente manera

$$y^* = \sqrt{\frac{2KD}{h}}$$

$$y^* = \sqrt{\frac{2(9,61)(14)}{7,76}}$$

$$y^* = 5,89$$

$$y^* \approx 6 \text{ unidades}$$

De la misma forma hallemos el intervalo de pedido óptimo T^* utilizando la expresión (2.32)

$$T^* = \sqrt{\frac{2K}{Dh}}$$

$$T^* = \sqrt{\frac{2(9,61)}{(14)(7,76)}}$$

$$T^* = 0,4206$$

Asimismo tomemos la demanda por día laborable (52 semanas * 5 días/semana = 260 días laborables) de tal forma que vemos el momento de cuando pedir

$$T^* = 0,4206(260 \text{ días laborables})$$

$$T^* = 109,36$$

$$T^* \approx 109 \text{ días laborables}$$

Ahora hallemos el costo mínimo total de inventario óptimo $CTI(y^*)$ usando la expresión (2.33).

$$CTI(y^*) = \sqrt{2hKD} + DC$$

$$CTI(y^*) = \sqrt{2(7,76)(9,61)(14)} + (14)(715)$$

$$CTI(y^*) = S/ 10,055.70$$

Por último hallemos el punto de reorden en base a la cantidad de pedido óptima y el tiempo de reabastecimiento de 1 día.

$$R = L_e D$$

$$R = (1) \left(\frac{14}{260 \text{ días laborables}} \right)$$

$$R = 0,05$$

$$R \approx 0 \text{ unidades}$$

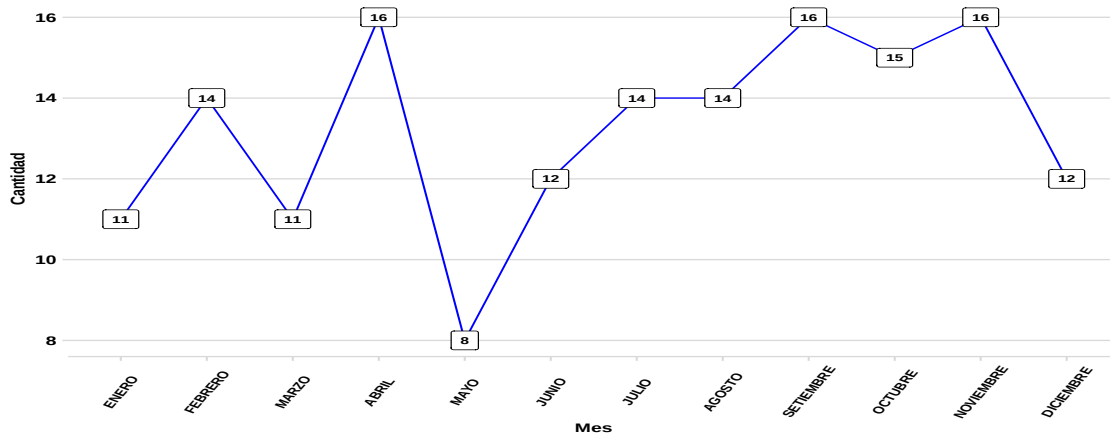
Esto quiere decir que cuando el inventario del producto llegue a 0 unidades se deben de realizar el pedido de 6 unidades, del cual el tiempo de pedido debería ser cada 109 días laborables teniendo un costo total de S/ 10,055.70

Solución salina equilibrada (BSS) en botella de vidrio 500 ml

El producto solución salina equilibrada (BSS) en botella de vidrio de 500 ml de Catarata del área de oftalmología es utilizado generalmente en las cirugías del área de oftalmología realizadas, primeramente observemos la tendencia de la demanda a lo largo del año 2024 en el siguiente gráfico.

Figura 32

Evolución demanda: Solución salina equilibrada (BSS) en botella de vidrio 500 ml de Catarata - oftalmología



La Figura 32 muestra el diagrama de líneas que representa la evolución de la demanda sobre la solución salina equilibrada (BSS) por mes en el año 2024, se observa que la demanda tiene un comportamiento determinístico a través de los meses del año, a excepción del mes de mayo en donde se encuentra el valor más bajo, asimismo no se observa una tendencia y solo estacionariedad en el tiempo, por lo que tomando estos casos y el comportamiento de la demanda es necesario utilizar un *modelo determinístico EOQ*.

Tomando en cuenta la demanda total anual de la Tabla 12, el costo de compra de la Tabla 14,

el costo de preparación estimado de la Tabla 16, el costo de retención estimado de la Tabla 19 y tiempo de reabastecimiento del pedido brindado por el área de logística se tienen los siguientes valores:

- **Demanda (D):** 159 unidades
- **Costo de compra (C):** S/ 290.00 por unidad
- **Costo de preparación (K):** S/ 5.80
- **Costo de retención (h):** S/ 18.19
- **Tiempo de entrega (L):** 7 días

Hallamos la cantidad de pedido óptima y^* mediante la expresión (2.30) de la siguiente manera

$$\begin{aligned}
 y^* &= \sqrt{\frac{2KD}{h}} \\
 y^* &= \sqrt{\frac{2(5,8)(159)}{18,19}} \\
 y^* &= 10,07 \\
 y^* &\approx 10 \text{ unidades}
 \end{aligned}$$

De la misma forma hallemos el intervalo de pedido óptimo T^* utilizando la expresión (2.32)

$$\begin{aligned}
 T^* &= \sqrt{\frac{2K}{Dh}} \\
 T^* &= \sqrt{\frac{2(5,8)}{(159)(18,19)}} \\
 T^* &= 0,0633
 \end{aligned}$$

Asimismo tomemos la demanda por día laborable (52 semanas * 5 días/semana = 260 días laborables) de tal forma que vemos el momento de cuando pedir

$$T^* = 0,0633(260 \text{ días laborables})$$

$$T^* = 16,47$$

$$T^* \approx 16 \text{ días laborables}$$

Ahora hallemos el costo mínimo total de inventario óptimo $CTI(y^*)$ usando la expresión (2.33).

$$CTI(y^*) = \sqrt{2hKD} + DC$$

$$CTI(y^*) = \sqrt{2(18,19)(5,8)(159)} + (159)(290)$$

$$CTI(y^*) = S/ 46,293.17$$

Por último hallemos el punto de reorden en base a la cantidad de pedido óptima y el tiempo de reabastecimiento de 7 días.

$$R = L_e D$$

$$R = (7) \left(\frac{159}{260 \text{ días laborables}} \right)$$

$$R = 4,28$$

$$R \approx 4 \text{ unidades}$$

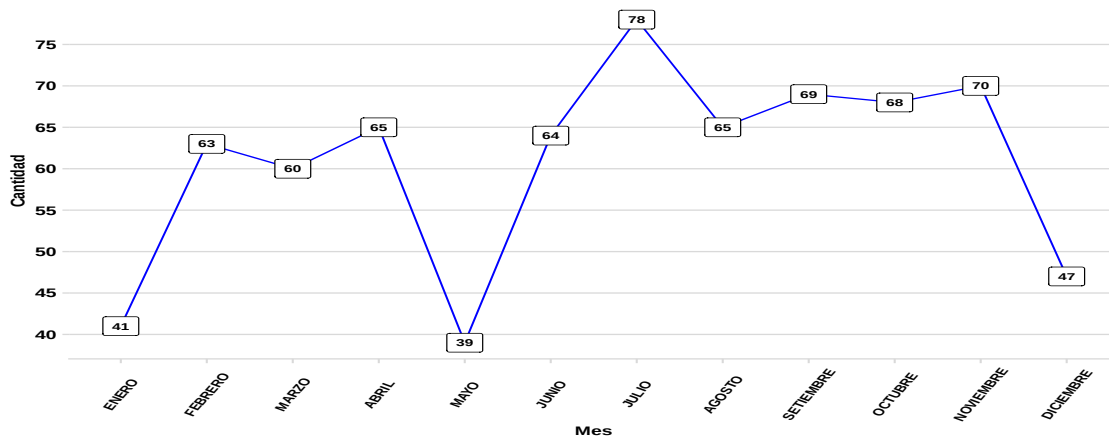
Esto quiere decir que cuando el inventario del producto llegue a 4 unidades se deben de realizar el pedido de 10 unidades, del cual el tiempo de pedido debería ser cada 16 días laborables teniendo un costo total de S/ 46,293.17

Campo quirúrgico 100 x 120 cm

El producto campo quirúrgico 100 x 120 cm de Insumos generales del área de oftalmología es utilizado generalmente en las cirugías del área de oftalmología realizadas, primeramente observemos la tendencia de la demanda a lo largo del año 2024 en el siguiente gráfico.

Figura 33

Evolución demanda: Campo quirúrgico 100 x 120 cm de Insumos generales - oftalmología



La Figura 33 muestra el diagrama de líneas que representa la evolución de la demanda del campo quirúrgico 100 x 120 cm por mes en el año 2024, se observa que la demanda tiene un comportamiento determinístico a través de los meses del año, a excepción de los meses de enero, mayo y diciembre en los cuales se presentan valores extremos bajos, asimismo no se observa una tendencia y solo estacionariedad en el tiempo, por lo que tomando estos casos y el comportamiento de la demanda es necesario utilizar un *modelo determinístico EOQ*.

Tomando en cuenta la demanda total anual de la Tabla 12, el costo de compra de la Tabla 14, el costo de preparación estimado de la Tabla 16, el costo de retención estimado de la Tabla 19 y tiempo de reabastecimiento del pedido brindado por el área de logística se tienen los siguientes valores:

- **Demanda (D):** 729 unidades
- **Costo de compra (C):** S/ 14.00 por unidad
- **Costo de preparación (K):** S/ 3.80
- **Costo de retención (h):** S/ 2.14
- **Tiempo de entrega (L):** 7 días

Hallamos la cantidad de pedido óptima y^* mediante la expresión (2.30) de la siguiente manera

$$\begin{aligned}
y^* &= \sqrt{\frac{2KD}{h}} \\
y^* &= \sqrt{\frac{2(3,8)(729)}{2,14}} \\
y^* &= 50,88 \\
y^* &\approx 51 \text{ unidades}
\end{aligned}$$

De la misma forma hallemos el intervalo de pedido óptimo T^* utilizando la expresión (2.32)

$$\begin{aligned}
T^* &= \sqrt{\frac{2K}{Dh}} \\
T^* &= \sqrt{\frac{2(3,8)}{(729)(2,14)}} \\
T^* &= 0,0698
\end{aligned}$$

Asimismo tomemos la demanda por día laborable (52 semanas * 5 días/semana = 260 días laborables) de tal forma que vemos el momento de cuando pedir

$$\begin{aligned}
T^* &= 0,0698(260 \text{ días laborables}) \\
T^* &= 18,15 \\
T^* &\approx 18 \text{ días laborables}
\end{aligned}$$

Ahora hallemos el costo mínimo total de inventario óptimo $CTI(y^*)$ usando la expresión (2.33).

$$\begin{aligned}
CTI(y^*) &= \sqrt{2hKD} + DC \\
CTI(y^*) &= \sqrt{2(2,14)(3,8)(729)} + (729)(14) \\
CTI(y^*) &= S/ 10,314.89
\end{aligned}$$

Por último hallemos el punto de reorden en base a la cantidad de pedido óptima y el tiempo de reabastecimiento de 7 días.

$$\begin{aligned}
 R &= L_e D \\
 R &= (7) \left(\frac{729}{260 \text{ días laborables}} \right) \\
 R &= 19,63 \\
 R &\approx 20 \text{ unidades}
 \end{aligned}$$

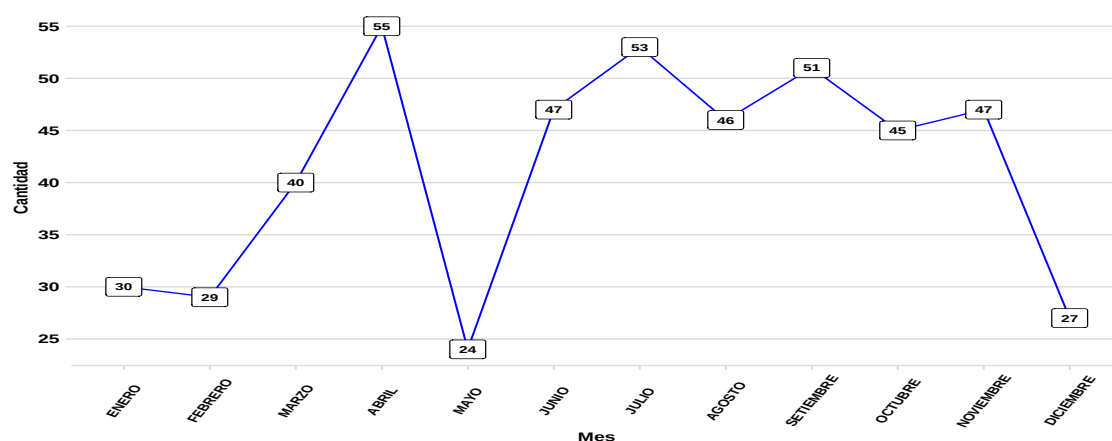
Esto quiere decir que cuando el inventario del producto llegue a 20 unidades se deben de realizar el pedido de 51 unidades, del cual el tiempo de pedido debería ser cada 18 días laborables teniendo un costo total de S/ 10,314.89

Azul de tripan 0.06 ‰ - 0.6 mg VIAL x 1ml / OCUBLU - TRY

El producto azul de tripan 0.06 ‰ - 0.6 mg VIAL x 1 ml de Catarata del área de oftalmología es utilizado para la cirugía de facoemulsificación y extracción manual de catarata con incisión pequeña que son las cirugías para la extracción de la catarata, primeramente observemos la tendencia de la demanda a lo largo del año 2024 en el siguiente gráfico.

Figura 34

Evolución demanda: Azul de tripan 0.06 ‰ - 0.6 mg VIAL x 1 ml / OCUBLU - TRY de Catarata - oftalmología



La Figura 34 muestra el diagrama de líneas que representa la evolución de la demanda del azul de tripan 0.06 ‰ por mes en el año 2024, se observa que la demanda tiene un comportamiento determinístico a través de los meses del año, a excepción de los meses de enero, febrero,

mayo y diciembre en los cuales se tienen valores extremos bajos, asimismo no se observa una tendencia y solo estacionariedad en el tiempo, por lo que tomando estos casos y el comportamiento de la demanda es necesario utilizar un *modelo determinístico EOQ*.

Tomando en cuenta la demanda total anual de la Tabla 12, el costo de compra de la Tabla 14, el costo de preparación estimado de la Tabla 16, el costo de retención estimado de la Tabla 19 y tiempo de reabastecimiento del pedido brindado por el área de logística se tienen los siguientes valores:

- **Demanda (D):** 494 unidades
- **Costo de compra (C):** S/ 400.00 por unidad
- **Costo de preparación (K):** S/ 9.61
- **Costo de retención (h):** S/ 2.41
- **Tiempo de entrega (L):** 7 días

Hallamos la cantidad de pedido óptima y^* mediante la expresión (2.30) de la siguiente manera

$$\begin{aligned}
 y^* &= \sqrt{\frac{2KD}{h}} \\
 y^* &= \sqrt{\frac{2(9,61)(494)}{2,41}} \\
 y^* &= 62,77 \\
 y^* &\approx 63 \text{ unidades}
 \end{aligned}$$

De la misma forma hallemos el intervalo de pedido óptimo T^* utilizando la expresión (2.32)

$$\begin{aligned}
 T^* &= \sqrt{\frac{2K}{Dh}} \\
 T^* &= \sqrt{\frac{2(9,61)}{(494)(2,41)}} \\
 T^* &= 0,1271
 \end{aligned}$$

Asimismo tomemos la demanda por día laborable (52 semanas * 5 días/semana = 260 días laborables) de tal forma que vemos el momento de cuando pedir

$$T^* = 0,1271(260 \text{ días laborables})$$

$$T^* = 33,04$$

$$T^* \approx 33 \text{ días laborables}$$

Ahora hallemos el costo mínimo total de inventario óptimo $CTI(y^*)$ usando la expresión (2.33).

$$CTI(y^*) = \sqrt{2hKD} + DC$$

$$CTI(y^*) = \sqrt{2(2,41)(9,61)(494)} + (494)(400)$$

$$CTI(y^*) = S/ 197,751.27$$

Por último hallemos el punto de reorden en base a la cantidad de pedido óptima y el tiempo de reabastecimiento de 7 días.

$$R = L_e D$$

$$R = (7) \left(\frac{494}{260 \text{ días laborables}} \right)$$

$$R = 13,30$$

$$R \approx 13 \text{ unidades}$$

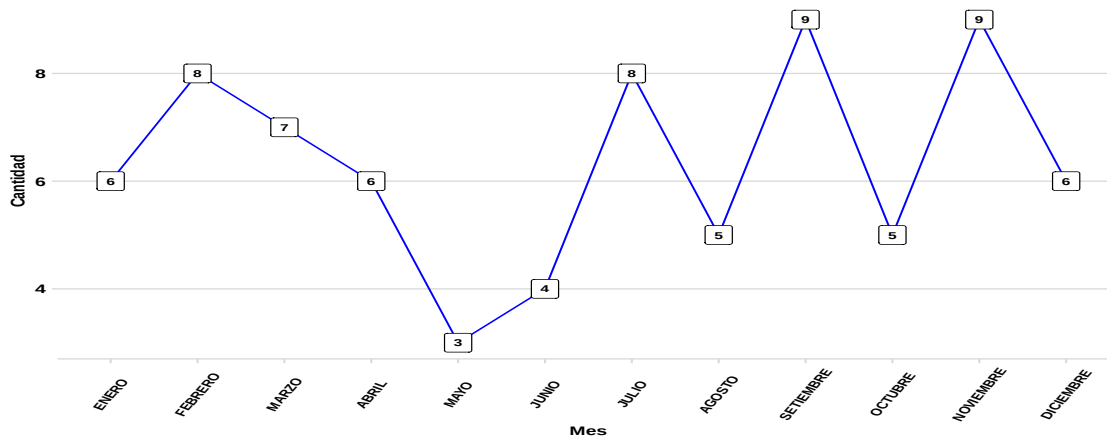
Esto quiere decir que cuando el inventario del producto llegue a 13 unidades se deben de realizar el pedido de 63 unidades, del cual el tiempo de pedido debería ser cada 33 días laborables teniendo un costo total de S/ 197,751.27

Agua destilada y/o desionizada

El producto agua destilada y/o desionizada de Esterilización del área de oftalmología es utilizado para el área de oftalmología en los procedimientos realizados, primeramente observemos la tendencia de la demanda a lo largo del año 2024 en el siguiente gráfico.

Figura 35

Evolución demanda: Agua destilada y/o desionizada de Esterilización - oftalmología



La Figura 35 muestra el diagrama de líneas que representa la evolución de la demanda del agua destilada por mes en el año 2024, se observa que la demanda tiene un comportamiento determinístico a través de los meses del año, a excepción del mes de mayo en donde se tuvo el punto más bajo, asimismo no se observa una tendencia y solo estacionariedad en el tiempo, por lo que tomando estos casos y el comportamiento de la demanda es necesario utilizar un *modelo determinístico EOQ*.

Tomando en cuenta la demanda total anual de la Tabla 12, el costo de compra de la Tabla 14, el costo de preparación estimado de la Tabla 16, el costo de retención estimado de la Tabla 19 y tiempo de reabastecimiento del pedido brindado por el área de logística se tienen los siguientes valores:

- **Demanda (D):** 76 unidades
- **Costo de compra (C):** S/ 39.84 por unidad
- **Costo de preparación (K):** S/ 11.51
- **Costo de retención (h):** S/ 473.40
- **Tiempo de entrega (L):** 7 días

Hallamos la cantidad de pedido óptima y^* mediante la expresión (2.30) de la siguiente manera

$$\begin{aligned}
y^* &= \sqrt{\frac{2KD}{h}} \\
y^* &= \sqrt{\frac{2(11,51)(76)}{473,4}} \\
y^* &= 1,92 \\
y^* &\approx 2 \text{ unidades}
\end{aligned}$$

De la misma forma hallemos el intervalo de pedido óptimo T^* utilizando la expresión (2.32)

$$\begin{aligned}
T^* &= \sqrt{\frac{2K}{Dh}} \\
T^* &= \sqrt{\frac{2(11,51)}{(76)(473,4)}} \\
T^* &= 0,0253
\end{aligned}$$

Asimismo tomemos la demanda por día laborable (52 semanas * 5 días/semana = 260 días laborables) de tal forma que vemos el momento de cuando pedir

$$\begin{aligned}
T^* &= 0,0253(260 \text{ días laborables}) \\
T^* &= 6,58 \\
T^* &\approx 7 \text{ días laborables}
\end{aligned}$$

Ahora hallemos el costo mínimo total de inventario óptimo $CTI(y^*)$ usando la expresión (2.33).

$$\begin{aligned}
CTI(y^*) &= \sqrt{2hKD} + DC \\
CTI(y^*) &= \sqrt{2(473,4)(11,51)(76)} + (76)(39,84) \\
CTI(y^*) &= S/ 3,937.91
\end{aligned}$$

Por último hallemos el punto de reorden en base a la cantidad de pedido óptima y el tiempo de reabastecimiento de 7 días.

$$\begin{aligned}
R &= L_e D \\
R &= (7) \left(\frac{76}{260 \text{ días laborables}} \right) \\
R &= 2,05 \\
R &\approx 2 \text{ unidades}
\end{aligned}$$

Esto quiere decir que cuando el inventario del producto llegue a 2 unidades se deben de realizar el pedido de 2 unidades, del cual el tiempo de pedido debería ser cada 7 días laborables teniendo un costo total de S/ 3,937.91

5.6 Generación del aplicativo web

Como última parte se generará el aplicativo en Shiny que ayudará en el seguimiento no solo de los productos analizados anteriormente, sino también de nuevos productos que el centro de salud también requiera aplicar en su política de inventarios.

El aplicativo se desarrolló en el lenguaje R debido a su potencia en análisis estadístico y modelado matemático, permitiendo combinar de manera eficiente cálculos, visualizaciones y lógica de decisión en un solo entorno. De tal forma que se contribuye a la optimización de procesos de gestión de inventarios al facilitar una interfaz intuitiva para el usuario que automatice tareas que requieran intervención manual.

Para el desarrollo se empleó *RShiny*, un paquete de R que permite la creación de aplicaciones web interactivas, el cual tuvo las siguientes etapas:

1. Diseño de la interfaz de usuario (*UI*) en el que se definieron los menús, paneles, filtros, ubicación de gráficos y tablas.
2. Definición del servidor (*server*) en el que colocaron las funciones para procesar la lógica computacional, conectando los inputs del usuario con los outputs correspondientes.
3. Carga y limpieza de datos en el que se tiene el procesamiento del archivo que se subirá

para realizar el análisis, así como las debidas transformaciones y funciones que sean necesarias.

4. Implementación de modelo de inventarios en el que se crearon funciones para realizar las políticas de inventarios tomando en cuenta el modelo EOQ clásico, EOQ con escasez y EOQ probabilizado.
5. Visualización de resultados a través de gráficos, tablas e informaciones que permitan el monitoreo del inventario.
6. Pruebas funcionales realizadas para asegurar la estabilidad de la aplicación y validación que pueda necesitar.
7. Despliegue del aplicativo, ejecutandose en el servidor de Shiny con el plan básico gratuito, el enlace del aplicativo es el siguiente https://kevin-heberth-haquehua-apaza.shinyapps.io/App_Inventario_Fuente_UNSAAC/

5.6.1 Presentación del aplicativo

Como primera parte se tiene la presentación del aplicativo web, mostrado cuando se accede al enlace, en esta parte se da una breve reseña de las funciones que contiene el aplicativo de inventario.

Figura 36
Información general del aplicativo de inventario

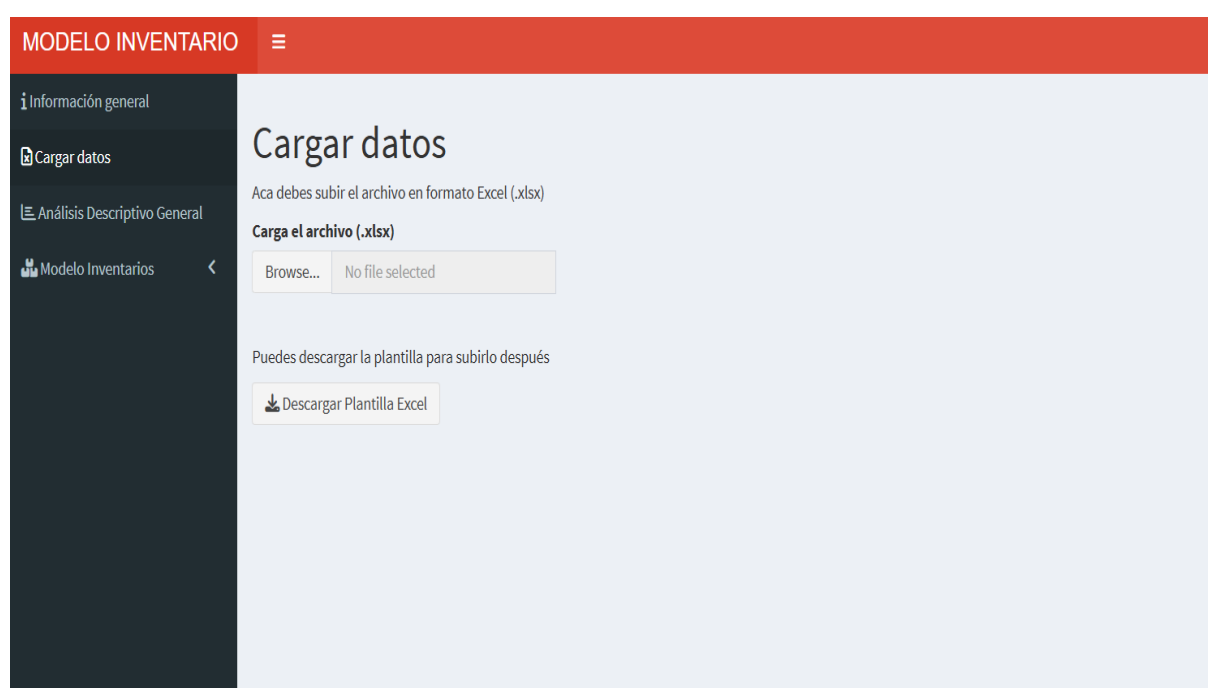


La Figura 36 muestra la presentación del aplicativo cuando se accede al enlace proporcionado, asimismo muestra un breve resumen de las funciones que tiene el aplicativo.

5.6.2 Cargar datos

Accediendo a la segunda pestaña del aplicativo “Cargar datos”, se muestra la parte en donde se tiene que subir los datos para que pueda ser ejecutado el análisis

Figura 37
Cargar datos del aplicativo de inventario



La Figura 37 muestra la sección de cargar datos que viene a ser la primera parte que se debe de realizar, los puntos a tener en cuenta son los siguientes:

- La extensión en la que debe subirse el archivo de carga es la extensión *.xlsx* que viene a ser el formato de archivos Excel.
- Asimismo el archivo debe tener dos hojas, en la cual la primera parte debe tener la información de todos los productos: Identificador del producto (*IDPROD*), área al que pertenece el producto (*AREA*), especialidad al que pertenece el producto (*ESPECIALIDAD*),

denominación del producto (*PRODUCTO*), volumen que ocupa el producto en cm^3 (*VOLUMEN*), cantidad de pedidos realizados por el producto, aunque este apartado no es tan necesario (*PEDIDOS*), costo total del producto en el periodo de tiempo (*COSTO*).

- La segunda hoja debe tener la demanda de los costos en la cual se debe tener la siguiente información: Identificador del producto el cual debe ser el mismo que el colocado en la primera hoja (*IDPROD*), demanda evaluada por el periodo de tiempo (en este caso por meses), volumen que ocupa el producto en cm^3 (*VOLUMEN*), el costo de compra del producto (*COSTO_COMPRA_C*), el costo de preparación del producto (*COSTO_PREPARACION_K*), el costo de retención del producto (*COSTO_RETENCION_h*), el costo de escasez del producto (*COSTO_ESCASEZ_p*), tiempo de entrega del pedido (*TIEMPO_ENTREGA_L*)
- Una mejor forma de ver el tipo de archivo que se debe subir se puede encontrar en el ANEXO G en donde se muestra la base de datos para realizar el estudio.
- De la misma forma en la parte inferior se puede descargar una plantilla con la información solicitada para que se pueda ingresar información y posteriormente subirlo.
- Es muy importante que el archivo Excel que se suba al aplicativo contenga la información solicitada que se detalló anteriormente, caso contrario no podrá realizar el análisis y modelos de inventarios.

5.6.3 *Análisis descriptivo general*

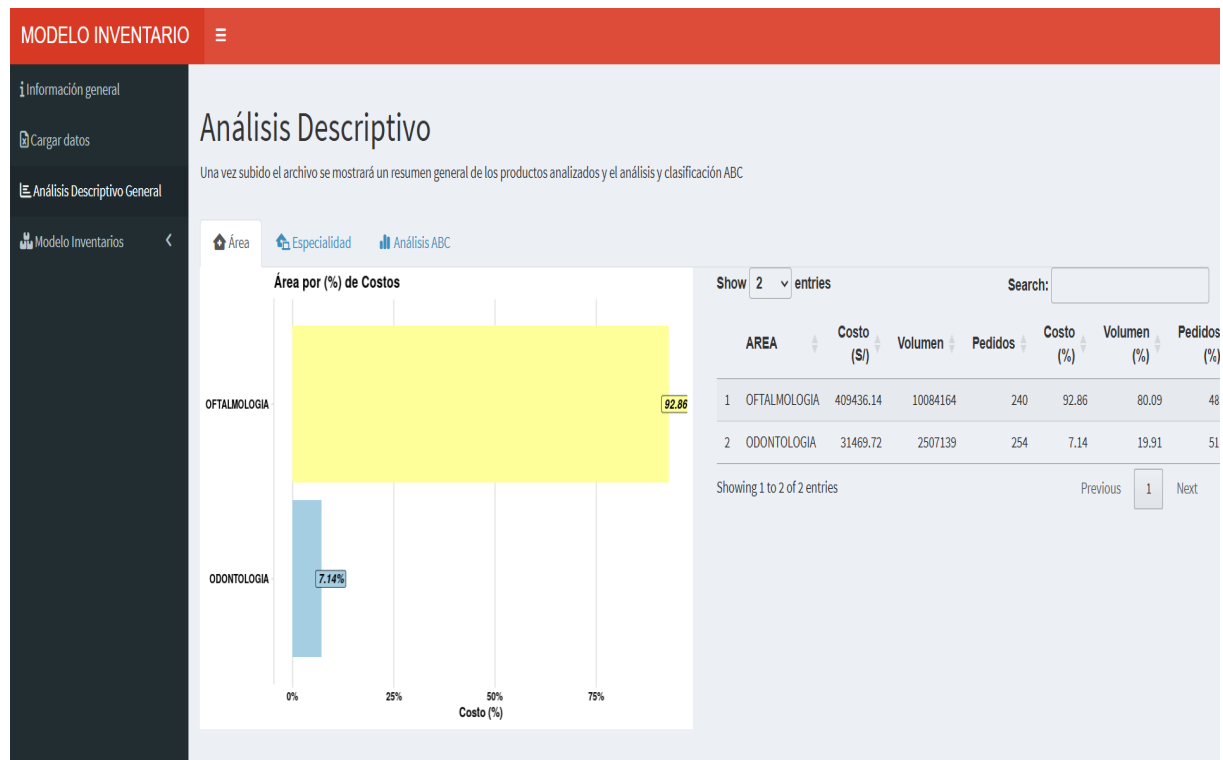
Una vez subido el archivo solicitado se tiene que ir a la parte de análisis descriptivo general en donde en base a la primera hoja llenada, mostrará un resumen descriptivo de las áreas y especialidades en base a los costos, y por último mostrará el análisis basado en costos (ABC) de los productos y su categorización.

Análisis descriptivo por área

En esta parte se muestra el análisis descriptivo por área tomando principalmente en cuenta los costos.

Figura 38

Análisis descriptivo general por área del aplicativo de inventario



La Figura 38 muestra el análisis por área tomando en cuenta todos los productos, el cual muestra la siguiente información:

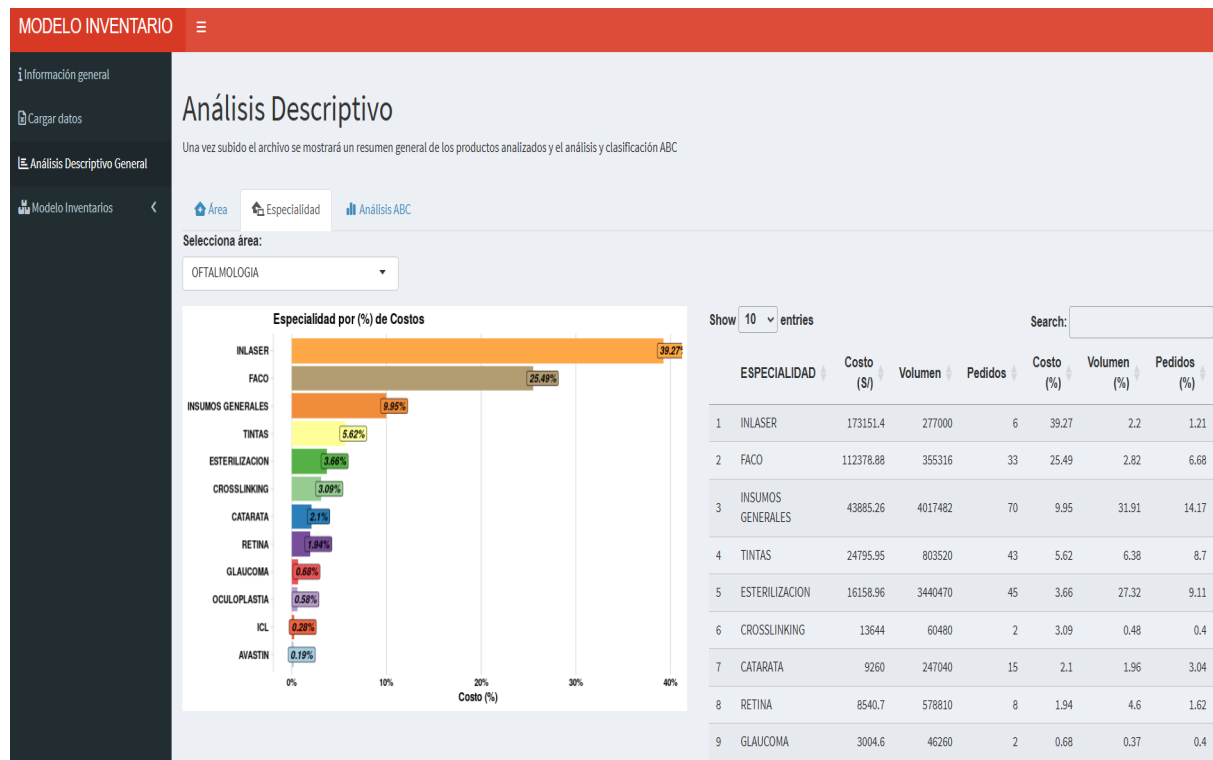
- En la izquierda se muestra el gráfico de barras que representa las áreas en donde se encuentra la mayor parte de los costos del inventario.
- En la derecha se muestra una tabla que resume las áreas tomando en cuenta los costos acumulados, volumen acumulado, pedidos realizados, costos acumulados (%), volumen acumulado (%) y pedidos realizados (%)

Análisis descriptivo por especialidad

En esta parte se muestra el análisis descriptivo por especialidad tomando principalmente en cuenta los costos.

Figura 39

Análisis descriptivo general por especialidad del aplicativo de inventario



La Figura 39 muestra el análisis por especialidad tomando en cuenta todos los productos, el cual muestra la siguiente información:

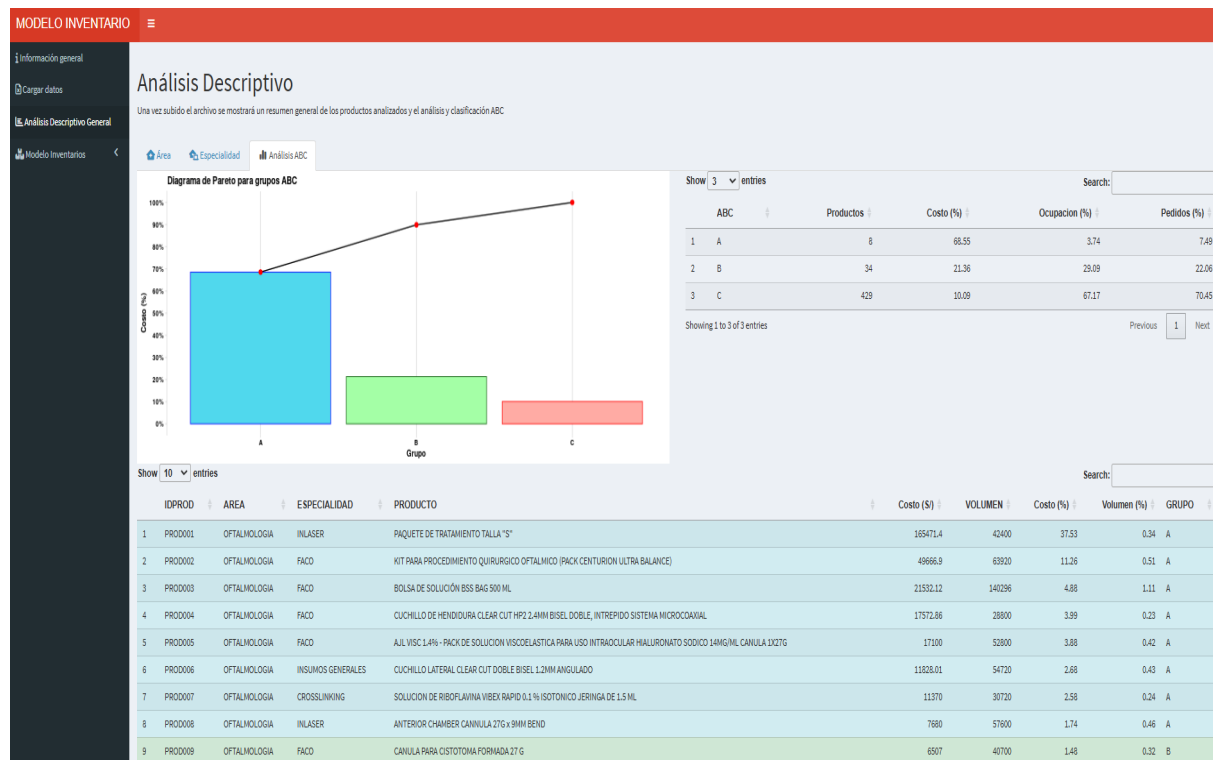
- Primeramente se tiene un filtro para seleccionar un área y poder ver el análisis.
- En la izquierda se muestra el gráfico de barras que representa las especialidades en donde se encuentra la mayor parte de los costos del inventario.
- En la parte derecha se muestra una tabla que resume las especialidades tomando en cuenta los costos acumulados, volumen acumulado, pedidos realizados, costos acumulados (%), volumen acumulado (%) y pedidos realizados (%)

Análisis descriptivo por actividades basadas en costos (ABC)

En esta parte se muestra el análisis de actividades basadas en costos (ABC) el cual el aplicativo es capaz de generar la clasificación de productos mediante la información brindada en los costos.

Figura 40

Análisis descriptivo de actividades basadas en costos (ABC) del aplicativo de inventario



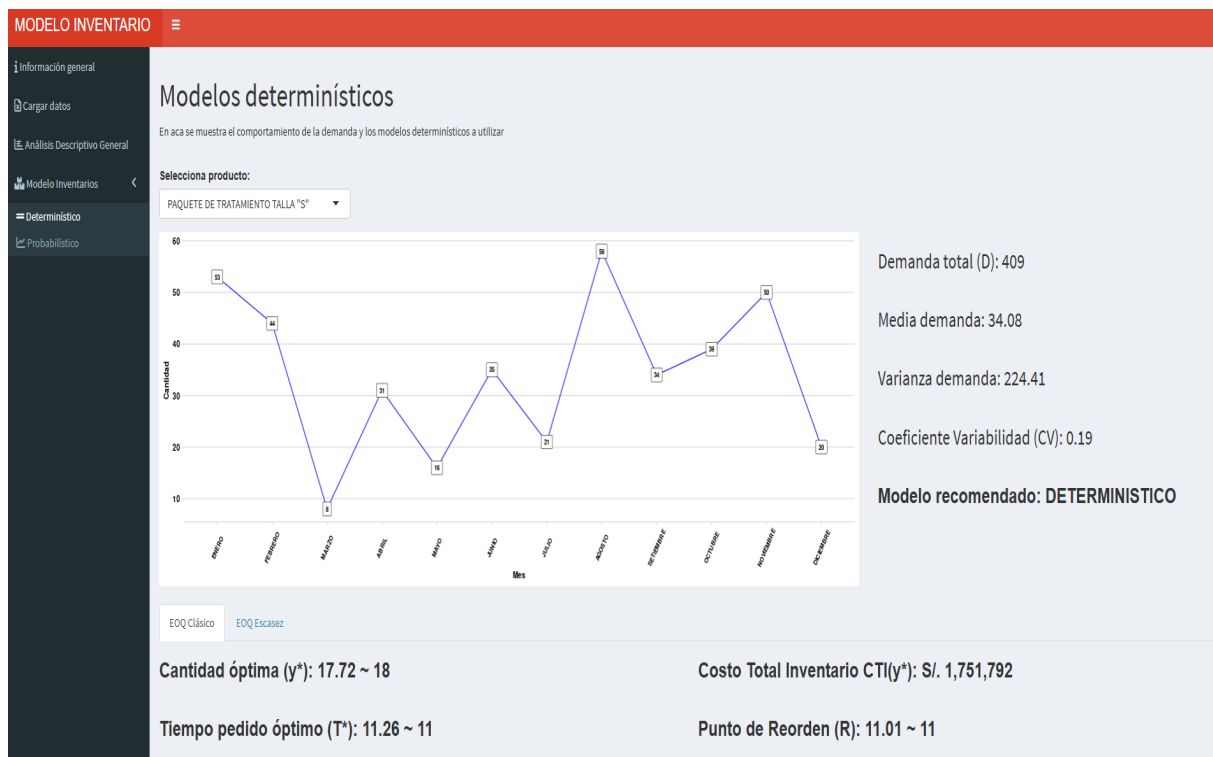
La Figura 40 muestra el análisis de actividades basadas en costos (ABC) tomando en cuenta todos los productos, el cual muestra la siguiente información:

- En la izquierda se muestra el diagrama de Pareto que representa los costos por grupos (A, B y C) en porcentaje de los costos.
- En la parte derecha se muestra una tabla que resume los resultados obtenidos mediante la clasificación (ABC) tomando en cuenta la cantidad de productos que tiene cada grupo, los costos acumulados (%) en cada grupo, la ocupación que tiene cada grupo (%) y los pedidos realizados por cada grupo (%).
- En la parte inferior se muestra la lista de todos los productos, y de la misma forma a que grupo pertenece según la clasificación (ABC)

5.6.4 Modelo de inventarios determinísticos

La siguiente parte del análisis que brinda el aplicativo muestra la aplicación de la política de inventarios, primeramente tomando en cuenta los dos modelos determinísticos: EOQ clásico y EOQ con escasez.

Figura 41
Modelo determinístico del aplicativo de inventario



La Figura 41 muestra los resultados de la aplicación del modelo de inventarios determinísticos en la cual se tiene la siguiente información:

- En la parte principal se tiene un filtro que selecciona el producto al que se le va a aplicar el análisis y política de inventario óptima.
- En la izquierda se muestra un gráfico de línea que representa la demanda del producto por mes.
- En la derecha se muestra la información del producto en las cuales se tiene:

- **Demanda Total (D):** El cual representa la demanda total del periodo analizado, en este caso la demanda anual total.
- **Media demanda:** Representa la media de la demanda tomando en cuenta los periodos, en este caso la media de la demanda mensual.
- **Varianza demanda:** Representa la varianza de la demanda en el periodo analizado, en este caso la varianza de la demanda mensual.
- **Coefficiente de variabilidad (CV):** Representa el coeficiente de variabilidad calculado para ver si el modelo a usar es un determinístico ($CV < 0,20$) o un probabilístico ($CV \geq 0,20$).
- **Modelo recomendado:** Indica el modelo recomendado a utilizar (determinístico o probabilístico) tomando en cuenta el coeficiente de variabilidad.

Modelo clásico de cantidad económica de pedido (EOQ)

La primera parte muestra los resultados aplicando el modelo determinístico EOQ clásico tomando en cuenta la información brindada en la sección (2.2.15) el cual muestra la siguiente información

- **Cantidad óptima (y^*):** Muestra la cantidad óptima de pedido calculado mediante el modelo.
- **Tiempo pedido óptimo (T^*):** Muestra el tiempo de pedido óptimo para realizar el pedido del modelo.
- **Costo total inventario ($CTI(y^*)$):** Muestra el costo total que se obtendrá con la aplicación del modelo.
- **Punto de reorden (R):** Muestra el punto en la que debe de realizarse el siguiente pedido.

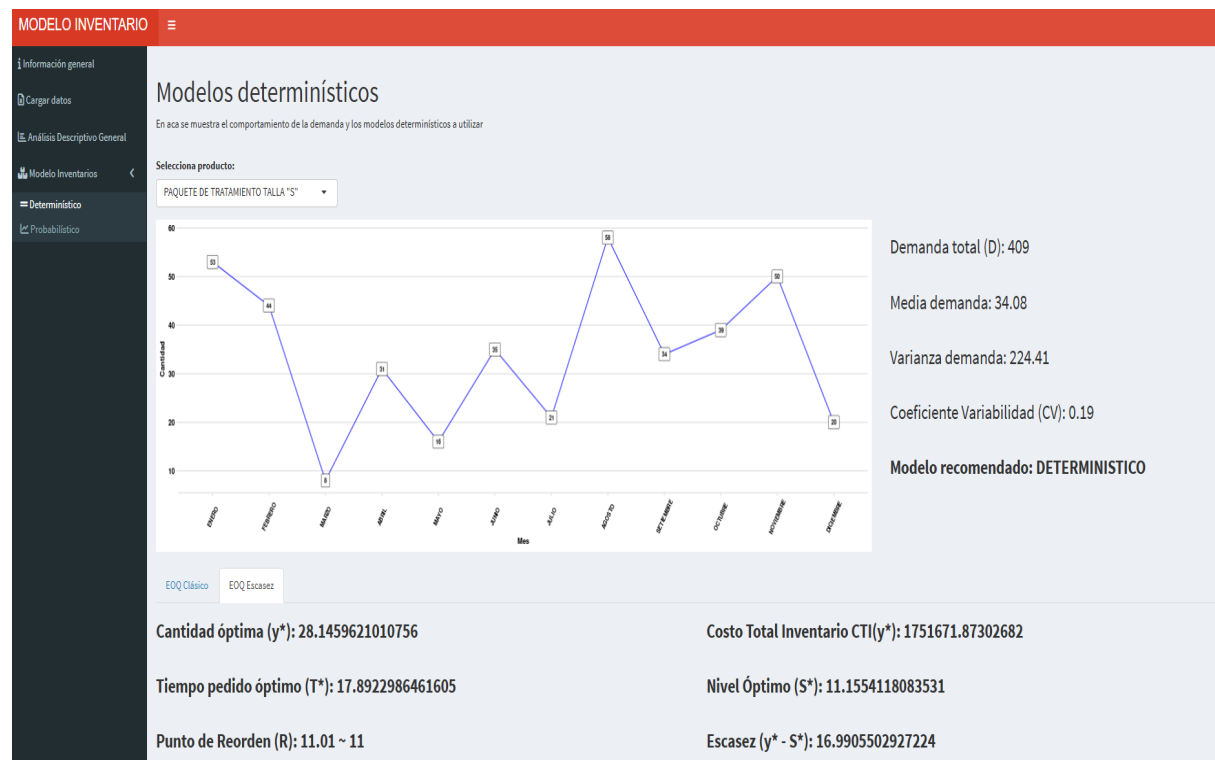
Modelo clásico de cantidad económica de pedido (EOQ) con escasez

La segunda parte muestra los resultados aplicando el modelo determinístico EOQ clásico con escasez, a pesar de que en los resultados obtenidos de los productos analizados no se tuvieron costos de escasez, es necesario colocar este análisis ya que el centro de salud puede agregar

otros productos que necesite analizar su política de inventarios y tenga estos costos, para los resultados de este análisis se toma en cuenta la información de la sección (2.2.15) y seleccionando en el aplicativo la pestaña de EOQ Escasez.

Figura 42

Modelo determinístico EOQ con escasez del aplicativo de inventario



La Figura 42 muestra los resultados tomando en cuenta el modelo EOQ con escasez, para mostrar el ejemplo se agregó al primer producto analizado un costo de escasez de S/ 6.50 en el cual la primera parte muestra la información general del modelo determinístico, la segunda parte muestra lo siguiente:

- **Cantidad óptima (y^*):** Muestra la cantidad óptima de pedido calculado mediante el modelo.
- **Tiempo pedido óptimo (T^*):** Muestra el tiempo de pedido óptimo para realizar el pedido del modelo.
- **Costo total inventario ($CTI(y^*)$):** Muestra el costo total que se obtendrá con la aplicación del modelo.

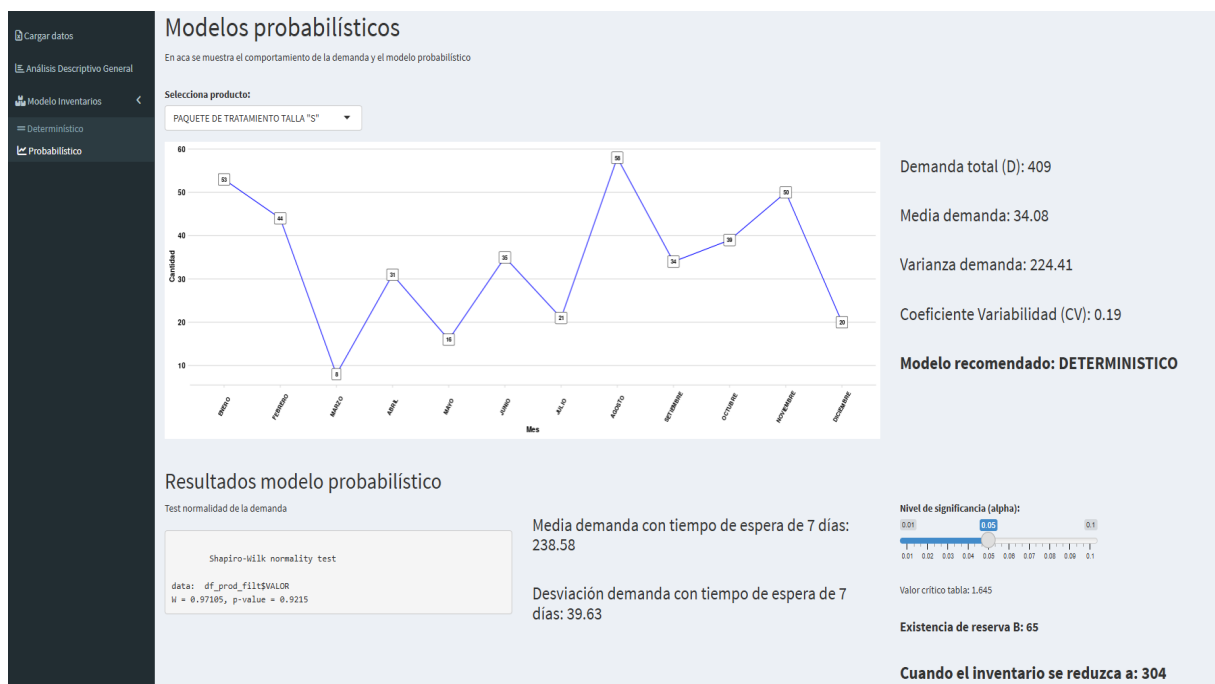
- **Punto de reorden (R):** Muestra el punto en la que debe de realizarse el siguiente pedido.
- **Nivel Óptimo (S^*):** Muestra el nivel óptimo de inventario que se debe tener tomando en cuenta el modelo.
- **Nivel de escasez óptimo ($y^* - S^*$):** Muestra el nivel de escasez óptimo permitido aplicando el modelo.

5.6.5 Modelo probabilístico

La última parte que brinda el aplicativo es el análisis aplicando el modelo probabilístico usando la información brindada en la sección (2.2.16) el cual usa el modelo EOQ clásico tomando un nivel de reserva basándose en que la demanda se puede expresar mediante una distribución normal estándar, a pesar de que el coeficiente de variabilidad calculado indica que solo es necesario usar los modelos determinísticos, el centro de salud necesitaría también tomar en cuenta este modelo, especialmente para nuevos productos en los cuales se tenga un comportamiento probabilístico.

Figura 43

Modelo determinístico EOQ probabilizado del aplicativo de inventario



La Figura 43 muestra los resultados obtenidos mediante el modelo probabilizado de la cantidad de pedido, la primera parte muestra los mismos resultados obtenidos en los modelos determinísticos, mientras que en la parte inferior se muestra la siguiente información:

- **Test de normalidad de la demanda:** En esta parte muestra los resultados del test de normalidad usando la prueba de Shapiro-Wilk hacia el comportamiento de la demanda, en el cual planteando un nivel de significancia y observado el p-value se decide por aceptar o rechazar la hipótesis nula (H_0) acerca de que la demanda mensual se aproxima a una distribución normal.
- **Media demanda con tiempo de espera:** Indica la media de la demanda con respecto al tiempo de entrega.
- **Desviación demanda con tiempo de espera:** Indica la desviación de la demanda con respecto al tiempo de entrega.
- **Nivel de significancia (α):** Indica el nivel de significancia que se debe colocar para realizar el cálculo de la cantidad de pedido óptimo.
- **Existencia de reserva (B):** Muestra la cantidad de existencia de reserva calculado por el modelo.
- **Nivel de inventario para realizar el pedido:** Indica el momento para realizar el pedido, cuando el inventario llegue a las unidades del modelo se debe de realizar el siguiente pedido.

DISCUSIONES

Según el estudio de Gallardo y Andrés (2016), titulado *"Propuesta de mejora para la gestión de inventarios de sociedad repuestos España limitada"* se tuvo un total de 2994 productos estudiados, en los cuales fueron 319 productos clasificados como "A" representando el 70 % de las ventas, estos productos fueron analizados de los cuales se tuvieron 102 productos con demanda determinística y 217 productos con demanda probabilística. En la investigación desarrollada se tuvo de un total de 471 productos analizados de los cuales se tuvo 8 productos clasificados como "A" representando el 68,55 %, asimismo se tomaron productos con mayores costos del grupo "B" para tener un análisis de 18 productos, en las cuales todos los productos tuvieron una demanda determinística.

La investigación de Loja Guarango (2015) titulado *"Propuesta de un sistema de gestión de inventarios para la empresa FEMARPE CIA.LTDA"* indico que la empresa no lleva fundamentos científicos en las acciones administrativas, sin tener la información necesaria para la aplicación de metodologías propuestas como las 5 S Japonesas, por lo que se recomendó una adecuada organización, estandarización de insumos, autodisciplina del personal, iniciando con la clasificación ABC enfatizando a que productos debe darle la prioridad para evitar gastos adicionales al momento de realizar la aplicación de métodos científicos administrativos. En el estudio realizado en el centro de salud integral La Fuente se observó que se tuvo un gran desarrollo en la parte administrativa, ya que tuvieron un control y registro de todos los movimientos realizados por parte del área de logística, siendo un gran progreso que tuvieron a comparación de los inicios que tuvo la entidad, sin embargo no se tuvo la información exacta en cuanto a la demanda o uso que se daba de cada producto, ya que tuvo que realizarse una estimación en base a los procedimientos realizados que generalmente usarán los productos, por lo que para este caso se espera que el centro de salud a futuro tenga el registro de estos procesos de productos ya sea usando un software o detallando los registros de salidas por parte del personal que realiza la solicitud.

Por otra parte, al igual que el estudio de Cáceres y del Pilar (2010) titulado *"Propuesta de un modelo de gestión de inventarios que permita mejorar la planeación y la distribución de las medicinas a las farmacias de un hospital"*, es importante tomar en cuenta la composición administrativa y su relación con otras áreas como lo es en el caso de farmacia para poder implantar una mejor política de inventarios, al igual que se tomo la información del KARDEX para ver los movimientos realizados y poder realizar la clasificación por actividades basadas en costos (ABC) en los cuales a pesar de que el centro de salud no tuvo problemas de sobre stock, desabastecimientos y programaciones de abastecimientos al momento de realizar las solicitudes, se espera que la política de inventarios propuesta mejore la gestión de inventarios del centro de salud y asimismo también implantar la metodología para el área de farmacia.

De la misma forma que el estudio de Caballero Rodriguez (2007) titulada *"Control de inventario para una empresa de capacitación en el área de salud"* se desarrollaron conceptos de sistemas de inventarios para mejorar el desempeño de actividades en la política de inventarios, en el cual el área de logística pueda gestionar eficientemente el sistema de inventarios obteniendo controles óptimos y mejor administración de insumos.

Para este caso no se realizó la aplicación del modelo de inventarios con limitación de almacén como el desarrollado en el trabajo de Aguilar Huilcahuaman (2017) titulado *"Análisis del inventario de almacén en la distribuidora Valle Sur S.A. - 2017; mediante el programa de inventario de almacén INVAL"* debido a que a pesar de que los productos tuvieron un área de ocupación en almacén, estos no se ven restringidos obligatoriamente a este espacio, ya que a comparación del estudio en el que se tuvieron que tomar en cuenta los pesos que tuvo cada producto como una limitante al momento de realizar los pedidos, el centro de salud integral no tuvo esos limitantes para los productos, en cambio se recomienda que se vea una mejor opción de almacenamiento especialmente a los productos que tuvieron una clasificación "A" mediante las actividades basadas en costos (ABC). Sin embargo a futuro se debería tomar en cuenta estas restricciones de espacio especialmente tomando en cuenta la visión del centro de salud sobre su desarrolló.

CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos mediante el trabajo de investigación se obtienen las siguientes conclusiones:

1. Se implementó el modelo clásico de cantidad económica de pedido (EOQ) para optimizar los inventarios de almacén del centro de salud integral La Fuente del Cusco durante el año 2024.
2. Los productos más demandados por el centro de salud integral La Fuente del Cusco en el año 2024 utilizando la metodologías de actividades basadas en costos, son insumos utilizados por el área de oftalmología ocupando el 79,31 % de los costos totales de todo el almacén en los que se incluyen los 8 productos clasificados en el grupo A y 10 productos del grupo B, de los cuales las especialidades que tuvieron mayores costos fueron: INLASER (39,27 %), FACO (25,49 %), insumos generales (5,97 %), tintas (3,78 %), CROSSLINKING (2,58 %), Catarata (1,52 %) y esterilización (0,71 %).
3. Los productos seleccionados mediante la metodología (ABC) indicaron un coeficiente de variabilidad menor a 0,20 por lo que se tuvo una demanda determinística y el modelo de inventarios a utilizar en todos los casos era el modelo clásico de cantidad económica de pedido (EOQ).
4. Usando la información brindada por el área de logística y administración del centro de salud integral La Fuente se estableció la cantidad, tiempo y costo óptimo de inventarios así como el momento de reorden. Pudiendo establecer así la política de inventarios óptima del centro de salud integral.
5. El aplicativo de Shiny apoyará al momento de realizar el monitoreo y seguimiento de los productos, no solo de los productos más demandados, sino también de productos adicionales que se puedan ingresar y pueda apoyar a gestionar una política de inventarios

óptima, de la misma forma se incluye el modelo EOQ con escasez y modelo EOQ probabilizado de cantidad pedido.

6. El centro de salud integral La Fuente del Cusco mostró un gran desarrollo con respecto al área administrativa y logística. En el que se espera que la implementación de los modelos de inventarios apoyen en la gestión de las decisiones tomadas acerca de los productos de almacén con base a una administración científica.

RECOMENDACIONES

1. Al centro de salud se recomienda tener el registro sobre el uso de los productos ya sea utilizando algún software o control para tener un valor más preciso al momento de implantar las políticas de inventarios.
2. Evaluar el impacto de la aplicación de modelos de inventarios para la gestión de inventarios con el fin de medir la importancia de la aplicación de modelos de investigación operativa en centros de salud.
3. De la misma forma recomendar la aplicación de sistemas de inventarios en el área de farmacia del centro de salud integral La Fuente para que también se puedan tomar y optimizar los medicamentos gestionados por farmacia.
4. Asimismo se recomienda a las instituciones de diferentes rubros realizar la aplicación de modelos de inventarios y otras técnicas de investigación operativa para llevar una administración científica y mejorar sus procesos. A través de la generación de aplicativos o el uso del aplicativo generado en RShiny.
5. A futuro realizar la aplicación del modelo de cantidad económica de pedido tomando en cuenta la limitación de almacén, asimismo usar los otros tipos de modelos determinísticos y probabilísticos de inventarios a otras problemáticas de aplicación.
6. Asimismo fomentar por parte de la escuela profesional de matemática y estadística al uso de lenguajes de programación como R, específicamente a la generación de aplicativos web con RShiny a los estudiantes para poder realizar prototipos computacionales con las aplicaciones matemáticas, estadísticas y de investigación operativa. De tal forma que puedan aplicar sus ideas de investigación hacia problemas reales de forma práctica e innovadora.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar Huillcahuaman, K. (2017). *Análisis del inventario de almacén en la distribuidora Valle Sur S.A. - 2017; mediante el programa de inventario de almacén INVAL*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Caballero Rodriguez, V. H. (2007). Control de inventario para una empresa de capacitación en el área de salud.
- Cáceres, R. y del Pilar, G. (2010). Propuesta de un modelo de gestión de inventarios que permita mejorar la planeación y la distribución de las medicinas a las farmacias de un hospital.
- Flores Tapia, C. E. y Flores Cevallos, K. L. (2023). Optimización de inventarios aplicando investigación de operaciones. *RECAI Revista de Estudios en Contaduría, Administración e Informática*, 12(34):1.
- Gallardo, A. y Andrés, A. (2016). Propuesta de mejora para la gestión de inventarios de sociedad repuestos España limitada. *Puerto Montt, Chile: Universidad Austral de Chile*.
- Haeussler, E. F. y Paul, R. S. (2003). *Matemáticas para administración y economía*. Pearson educación.
- Hernández-Sampieri, R. y Mendoza, C. (2020). Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.
- Hillier, F. y Lieberman, G. (2003). Introducción a la investigación de operaciones, 5ª. edición, McGrawHill.
- Hines, W. W. y Montgomery, D. C. (1988). *Probabilidad y estadística para ingeniería y administración*. Continental.
- Khuri, A. I. (2002). *Advanced Calculus with Applications in Statistics*. Wiley.

- Loja Guarango, J. C. (2015). Propuesta de un sistema de gestión de inventarios para la empresa FEMARPE CÍA. LTDA. B.S. thesis.
- Magalon Londoño, G., Ponton Laverde, G., y Reynales Londoño, J. (2016). *Gerencia hospitalaria para una administración efectiva*. Editorial Médica Panamericana.
- Mankiw, N. G. y Rabasco, E. (2007). *Principios de economía*. Ediciones Paraninfo, SA.
- Prawda Witenberg, J. (2000). Métodos y modelos de investigación de operaciones.
- Render, B., Stair, R. M., Hanna, M. E., et al. (2006). *Métodos cuantitativos para los negocios*. Pearson Educación.
- Rincón, L. (2014). *Introducción a la probabilidad*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias.
- Stewart, J. (2016). *Calculus: early transcendentals 8th edition*. Cengage Learning.
- Taha, H. (2012). Investigación de operaciones. novena edición pearson educación. Mexico, p824.
- Toomey, J. W. (2000). *Inventory management: principles, concepts and techniques*, volume 12. Springer Science & Business Media.
- Yanque Vara, D., Rodríguez Meza, M. C., y Vásquez Campos, S. A. (2023). Analysis of inventories through a statistical forecast model in a company peruvian. *SCIÉENDO*, 26(2):191–197.

ANEXOS

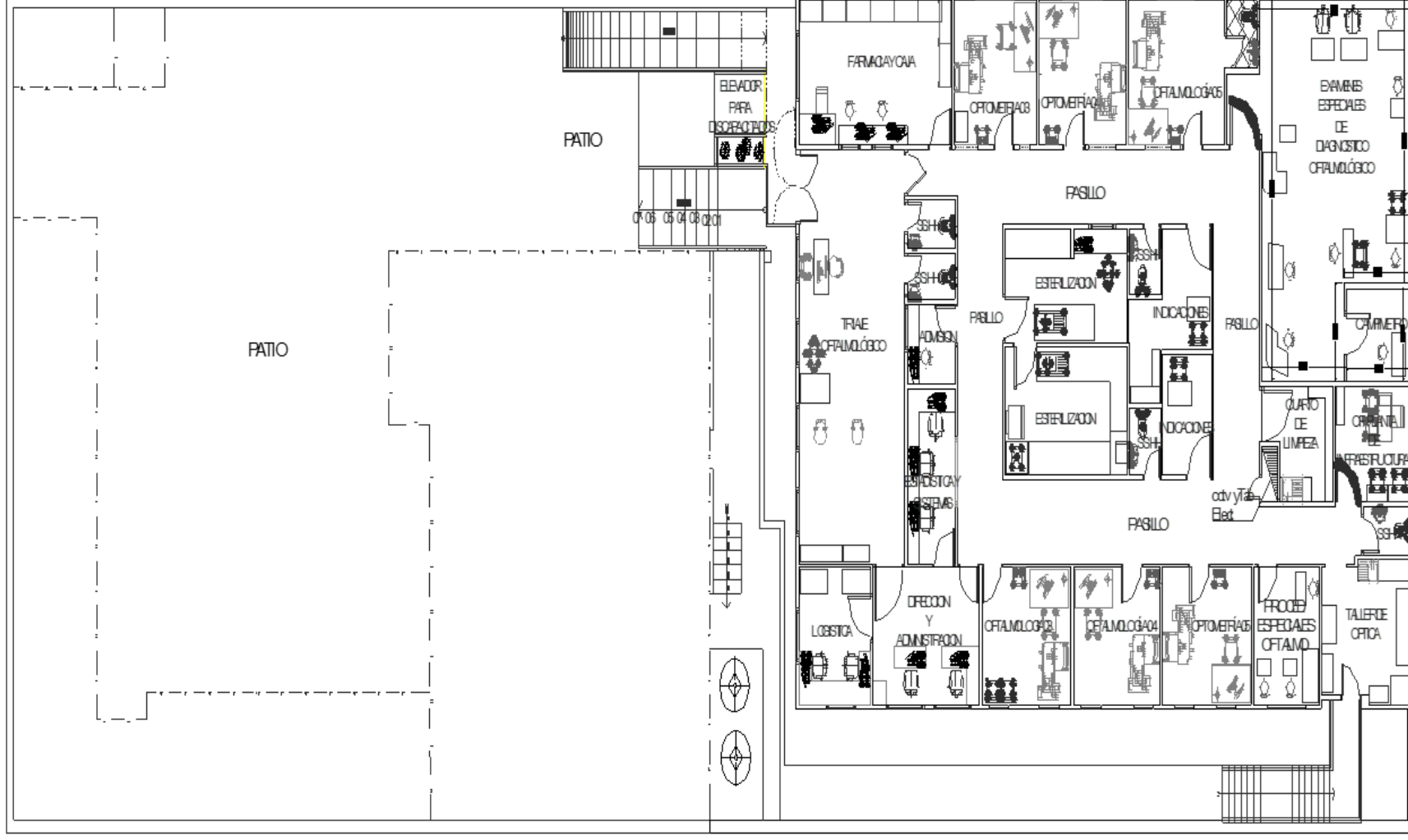
A. Matriz de consistencia

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
General			Dependientes	◦ Tipo: Aplicado ◦ Enfoque: Cuantitativo ◦ Alcance: Descriptivo correlacional - Explicativo ◦ Diseño: Retrospectivo longitudinal no experimental ◦ Población: Productos de almacén. ◦ Población de estudio: Productos clasificados mediante (ABC). ◦ Técnica de recolección de datos: Revisión documental y/o datos secundarios. ◦ Instrumento de recolección de datos: Boletas, ordenes de compra, KARDEX, cotizaciones. ◦ Método de análisis de datos: Recopilación de datos en un archivo .xlsx, procesamiento y análisis de datos en el lenguaje de programación R mediante el entorno de desarrollo integrado RStudio.
¿Cómo implementar los modelos de inventarios para optimizar el control de almacén del centro de salud integral La Fuente del Cusco durante el año 2024?	Implementar los modelos de inventarios para optimizar el control de almacén del centro de salud integral La Fuente del Cusco durante el año 2024.	El control de almacén del centro de salud integral La Fuente del Cusco se optimizará mediante la aplicación de los modelos de inventarios.	◦ Cantidad de pedido óptimo ◦ Tiempo de pedido óptimo	
Específicos			Independientes	
◦ ¿Cuáles son los productos más demandados y/o costosos en el centro de salud integral La Fuente del Cusco? ◦ ¿Qué modelo de inventarios se adecua a los productos más demandados y/o costosos del centro de salud integral La Fuente del Cusco? ◦ ¿Cuál es la cantidad, periodo y costos de pedido óptimo para los productos más demandados y/o costosos del centro de salud integral La Fuente del Cusco mediante el modelo de inventarios? ◦ ¿Cómo desarrollar un aplicativo web que apoye con el monitoreo y seguimiento de los productos del centro de salud integral La Fuente del Cusco?	◦ Clasificar los productos más demandados y/o costosos del centro de salud integral La Fuente del Cusco aplicando el análisis de actividades basadas en costo (ABC). ◦ Identificar el mejor modelo de inventarios para los productos más demandados y/o costosos del centro de salud integral La Fuente del Cusco. ◦ Determinar la cantidad, el tiempo y costos de pedido óptimo mediante el modelo de inventarios identificado para los productos más demandados y/o costosos del centro de salud integral La Fuente del Cusco. ◦ Desarrollar un aplicativo web en Shiny para realizar el monitoreo y seguimiento de los productos del centro de salud integral La Fuente del Cusco.	◦ Los productos más demandados y/o costosos en el centro de salud integral La Fuente del Cusco vienen a ser aquellos usados en el área de oftalmología. ◦ Los modelos de inventarios determinísticos se adecuan a los productos más demandados y/o costosos. ◦ Las cantidades, tiempo y costos de inventarios se optimizarán aplicando los modelos de inventarios. ◦ El aplicativo web de Shiny monitoreará y dará seguimiento a los productos del centro de salud integral La Fuente del Cusco.	◦ Tiempo de reabastecimiento. ◦ Demanda. ◦ Costos.	

B. Plano del centro de salud integral “La Fuente”

162





C. Solicitud de realización de la investigación

SOLICITO: AUTORIZACIÓN A LA INFORMACIÓN DE ALMACÉN DEL CENTRO DE SALUD INTEGRAL “LA FUENTE”

DOCTOR: NATHANAEL MARK HENSON

GERENTE GENERAL DEL CENTRO DE SALUD INTEGRAL LA FUENTE CUSCO

Respetado doctor un cordial saludo, me es grato dirigirme a usted para presentarme, mi nombre es **HAQUEHUA APAZA, Kevin Heberth**, identificado con DNI N° **72658015** y código de matrícula N° **160924**, bachiller de la Facultad de Ciencias Químicas, Físicas y Matemáticas, Escuela Profesional de Matemáticas de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, con número de celular 941117626 y correo institucional 160924@unsaac.edu.pe

Tengo el agrado de dirigirme a usted, con la finalidad de solicitar: AUTORIZACIÓN PARA TENER ACCESO A LA INFORMACIÓN DE ALMACÉN EN EL PERIODO 2024, para la realización de mi trabajo de investigación titulado: “MODELO DE INVENTARIOS APLICADO AL CONTROL DE ALMACÉN DEL CENTRO DE SALUD INTEGRAL LA FUENTE DEL CUSCO, 2024”, para optar el título profesional de **Licenciado en Matemática mención Estadística**.

No dudando de su gentil aceptación, me permito a la consideración de respeto hacia su persona y los miembros del Centro de Salud.

POR LO TANTO:

Agradeceré a usted atender mi solicitud.

Cusco, 13 de febrero del 2025.



Kevin Heberth Haquehua Apaza
DNI N° 72658015

D. Autorización del Centro de Salud



LA FUENTE
CENTRO DE SALUD INTEGRAL
SALUD CON COMPASIÓN

CENTRO DE SALUD INTEGRAL LA FUENTE

PJ. EDUARDO ASTETE MENDOZA F-2 APV, LOS RETAMALES, Cusco, Perú

Cusco, 17 de febrero del 2025

Bachiller: Kevin Heberth Haquehua Apaza

Estimado Kevin Heberth Haquehua Apaza

En atención a su solicitud de fecha 13 de febrero del 2025, referente al acceso a la base de datos de almacén en el período 2024 para la realización de su trabajo de investigación “MODELO DE INVENTARIOS APLICADO AL CONTROL DE ALMACÉN DEL CENTRO DE SALUD INTEGRAL LA FUENTE DEL CUSCO, 2024”, me permito informarle lo siguiente:

Después de evaluar su solicitud y el propósito académico que persigue, la institución ha decidido **autorizar el acceso a la base de datos de logística y almacén solicitada**, bajo las condiciones de **confidencialidad y respeto a las normativas éticas y legales aplicables**.

Este acceso se proporcionará exclusivamente para los fines de su investigación y no podrá ser utilizado para otros propósitos sin previa autorización.

Le recordamos que, como parte de este proceso, deberá adherirse estrictamente a los protocolos establecidos por la institución. Asimismo, se le solicita que los resultados de su investigación sean presentados a la institución para su evaluación y posible difusión, en caso de ser pertinente.

Quedamos a su disposición para coordinar los detalles logísticos para el acceso a la base de datos, así como para cualquier otra consulta relacionada con su investigación.

Sin otro particular, le deseamos mucho éxito en su trabajo académico.

Atentamente,

Nathanael Mark Henson
Director del Centro de Salud Integral La Fuente

E. Evidencia fotográfica





F. Script código R

```
#####  
#####: MODELO DE INVENTARIOS - SCRIPT RESULTADOS :  
#####: KEVIN HEBERTH HAQUEHUA APAZA :  
#####  
#####  
#: LIBRERIAS A UTILIZAR :  
#####  
library(ggplot2)  
library(cowplot)  
library(dplyr)  
library(RColorBrewer)  
library(readxl)  
library(tidyr)  
#####  
#: FUNCIONES PREVIAS A UTILIZAR :  
#####  
#Función para poner etiquetas en los gráficos  
etiquetas <- function(x) {  
  paste0(x,"%")  
}  
#Niveles de los meses para los gráficos  
meses_es <- c("ENERO", "FEBRERO", "MARZO", "ABRIL", "MAYO", "JUNIO",  
  "JULIO", "AGOSTO", "SEPTIEMBRE",  
  "OCTUBRE", "NOVIEMBRE", "DICIEMBRE")  
#####  
#: LLAMADO DE DATOS :  
#####  
#Leer primera hoja de datos  
data_general <- read_excel("Data.xlsx", sheet = 1)  
#Leer segunda hoja de datos  
data_modelos <- read_excel("Data.xlsx", sheet = 2)  
#####  
#: ANÁLISIS DESCRIPTIVO :  
#####  
#----- PROCESAMIENTO DE VARIABLES -----  
Total_volumen <- sum(data_general$VOLUMEN) #Total del volumen  
Total_costo <- sum(data_general$COSTO) #Total del costo  
Total_pedido <- sum(data_general$PEDIDOS) #Total del pedido  
  
#(%) volumen  
data_general$PORC_VOLUMEN <- (data_general$VOLUMEN / Total_volumen) * 100  
#(%) costo  
data_general$PORC_COSTO <- (data_general$COSTO / Total_costo) * 100  
#(%) pedido  
data_general$PORC_PEDIDO <- (data_general$PEDIDOS / Total_pedido) * 100
```

```

#Ordenar Los datos (%) costos
data_general <- data_general %>% arrange(desc(PORC_COSTO))
#(%) costo acumulado
data_general$PORC_COSTO_ACUM <- cumsum(data_general$PORC_COSTO)
#Clasificación ABC
data_general$ABC <- ifelse(data_general$PORC_COSTO_ACUM <= 70, "A",
                           ifelse(data_general$PORC_COSTO_ACUM > 70 &
                                   data_general$PORC_COSTO_ACUM <= 90, "B",
                                   "C"))
#----- ANALISIS POR AREA -----
#GRAFICO
grupo_area <- data_general %>% group_by(AREA) %>%
  summarise(Costo = sum(COSTO)) %>%
  mutate(Porcentaje = prop.table(Costo)*100)
colourCount = length(unique(grupo_area$AREA))
ggplot(data = grupo_area, aes(x=reorder(AREA, Porcentaje),
                              y=Porcentaje, fill=AREA)) +
  geom_bar(stat="identity") + coord_flip() + theme_minimal_vgrid() +
  scale_fill_manual(values = colorRampPalette(brewer.pal(11,
"Paired"))(colourCount)) +
  labs(y="Costo (%)") +
  theme(plot.background=element_rect(fill="white"),
        legend.position="none",
        plot.title = element_blank(),
        axis.title.y = element_blank(),
        axis.title.x = element_text(face = "bold", size = 12,color =
"black"),
        axis.text.x = element_text(face = "bold", size = 10,color = "black"),
        axis.text.y = element_text(face = "bold", size = 10,color = "black"))
+
  geom_label(aes(label=paste0(round(Porcentaje,2),"%")),
            colour = "black", fontface = "bold.italic", hjust=0.2) +
  scale_y_continuous(labels = etiquetas)
#TABLA
grupo_area <- data_general %>% group_by(AREA) %>%
  summarise(Productos = n(),
            `Costo (S/)` = sum(COSTO),
            Volumen = sum(VOLUMEN),
            Pedidos = sum(PEDIDOS)) %>%
  mutate(`Costo (%)` = round(prop.table(`Costo (S/)`)*100,2),
        `Volumen (%)` = round(prop.table(Volumen)*100,2),
        `Pedidos (%)` = round(prop.table(Pedidos)*100,2)) %>%
  arrange(desc(`Costo (%)`))
print(grupo_area)
#----- ANALISIS POR ESPECIALIDAD -----
#ESPECIALIDAD DE OFTALMOLOGIA
#GRAFICO
grupo_especialidad_ofo <- data_general %>% filter(AREA == "OFTALMOLOGIA") %>%
  group_by(ESPECIALIDAD) %>%
  summarise(Porcentaje = sum(PORC_COSTO)) %>%

```

```

    arrange(desc(Porcentaje))
colourCount = length(unique(grupo_especialidad_ofte$ESPECIALIDAD))
ggplot(data = grupo_especialidad_ofte, aes(x=reorder(ESPECIALIDAD, Porcentaje),
                                             y=Porcentaje, fill=ESPECIALIDAD)) +
  geom_bar(stat="identity") + coord_flip() + theme_minimal_vgrid() +
  scale_fill_manual(values = colorRampPalette(brewer.pal(11,
"Paired"))(colourCount)) +
  labs(y="Costo (%)") +
  theme(plot.background=element_rect(fill="white"),
        legend.position="none",
        plot.title = element_blank(),
        axis.title.y = element_blank(),
        axis.title.x = element_text(face = "bold", size = 12,color =
"black"),
        axis.text.x = element_text(face = "bold", size = 10,color = "black"),
        axis.text.y = element_text(face = "bold", size = 10,color = "black"))
+
  geom_label(aes(label=paste0(round(Porcentaje,2),"%"), colour = "black",
                             fontface = "bold.italic", hjust=0.2) +
  scale_y_continuous(labels = etiquetas)
#TABLA
grupo_especialidad_ofte <- data_general %>% filter(AREA == "OFTALMOLOGIA") %>%
  group_by(ESPECIALIDAD) %>%
  summarise(Productos = n(),
            `Costo (S/)` = sum(COSTO),
            Volumen = sum(VOLUMEN),
            Pedidos = sum(PEDIDOS),
            `Costo (%)` = round(sum(PORC_COSTO),2),
            `Volumen (%)` = round(sum(PORC_VOLUMEN),2),
            `Pedidos (%)` = round(sum(PORC_PEDIDO),2)) %>%
  arrange(desc(`Costo (%)`))
print(grupo_especialidad_ofte)
#ESPECIALIDAD DE ODONTOLOGIA
#GRAFICO
grupo_especialidad_odont <- data_general %>% filter(AREA == "ODONTOLOGIA")
%>%
  group_by(ESPECIALIDAD) %>%
  summarise(Porcentaje = sum(PORC_COSTO)) %>%
  arrange(desc(Porcentaje))
colourCount = length(unique(grupo_especialidad_odont$ESPECIALIDAD))
ggplot(data =
grupo_especialidad_odont, aes(x=reorder(ESPECIALIDAD, Porcentaje),
                               y=Porcentaje, fill=ESPECIALIDAD)) +
  geom_bar(stat="identity") + coord_flip() + theme_minimal_vgrid() +
  scale_fill_manual(values = colorRampPalette(brewer.pal(11,
"Paired"))(colourCount)) +
  labs(y="Costo (%)") +
  theme(plot.background=element_rect(fill="white"),
        legend.position="none",
        plot.title = element_blank(),

```



```

axis.title.y = element_blank(),
axis.title.x = element_text(face = "bold", size = 12,color =
"black"),
axis.text.x = element_text(face = "bold", size = 10,color = "black"),
axis.text.y = element_text(face = "bold", size = 10,color = "black"))
+
  geom_label(aes(label=paste0(round(Porcentaje,2),"%")), colour = "black",
             fontface = "bold.italic", hjust=0.2) +
  scale_y_continuous(labels = etiquetas)
#TABLA
grupo_especialidad_odont <- data_general %>% filter(AREA == "ODONTOLOGIA")
%>%
  group_by(ESPECIALIDAD) %>%
  summarise(Productos = n(),
            `Costo (S/)` = sum(COSTO),
            Volumen = sum(VOLUMEN),
            Pedidos = sum(PEDIDOS),
            `Costo (%)` = round(sum(PORC_COSTO),2),
            `Volumen (%)` = round(sum(PORC_VOLUMEN),2),
            `Pedidos (%)` = round(sum(PORC_PEDIDO),2)) %>%
  arrange(desc(`Costo (%)`))
print(grupo_especialidad_odont)
#----- ACTIVIDADES BASADAS EN COSTOS (ABC) -----
#GRAFICO
grupo_ABC <- data_general %>% group_by(ABC) %>%
  summarise(Productos = n(),
            Cantidad = sum(PORC_COSTO),
            Acumulado = max(PORC_COSTO_ACUM))
ggplot(data = grupo_ABC,aes(x=ABC, y=Cantidad, fill=ABC, colour = ABC)) +
  geom_bar(stat="identity") + theme_minimal_vgrid() +
  scale_fill_manual(values = c("#50d8ed","#a4ffa6","#ffaba4")) +
  scale_color_manual(values = c("blue","#085c07","red")) +
  geom_line(aes(y = Acumulado, group = 1),
            color = "black", size = 0.8) +
  geom_point(aes(y = Acumulado),
            color = "red", size = 3) +
  labs(x="Grupo",y="Costo (%)") +
  theme(plot.background=element_rect(fill="white"),
        legend.position="none",
        plot.title = element_blank(),
        axis.title.y = element_text(face = "bold", size = 12,color =
"black"),
        axis.title.x = element_text(face = "bold", size = 12,color =
"black"),
        axis.text.x = element_text(face = "bold", size = 10,color = "black"),
        axis.text.y = element_text(face = "bold", size = 10,color = "black"))
+
  scale_y_continuous(labels = etiquetas)
#TABLA
grupo ABC <- data general %>% group by(ABC) %>%

```

```

summarise(Productos = n(),
          `Costo (%)` = round(sum(PORC_COSTO),2),
          `Ocupacion (%)` = round(sum(PORC_VOLUMEN),2),
          `Pedidos (%)` = round(sum(PORC_PEDIDO),2)) %>%
arrange(desc(`Costo (%)`))

#::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::
#::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::
#::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::
#----- PROCESAMIENTO DE VARIABLES -----
#Calcular Demanda Total
data_modelos$DEMANDA <- data_modelos$ENERO + data_modelos$FEBRERO +
data_modelos$MARZO +
  data_modelos$ABRIL + data_modelos$MAYO + data_modelos$JUNIO +
data_modelos$JULIO +
  data_modelos$AGOSTO + data_modelos$SETIEMBRE + data_modelos$OCTUBRE +
  data_modelos$NOVIEMBRE + data_modelos$DICIEMBRE
#Calcular Media Demanda
data_modelos$DEMANDA_MEDIA <- data_modelos$DEMANDA / 12
#Calcular Varianza Demanda
data_modelos$DEMANDA_VAR <- ((data_modelos$ENERO -
data_modelos$DEMANDA_MEDIA)^2 +
  (data_modelos$FEBRERO - data_modelos$DEMANDA_MEDIA)^2 +
  (data_modelos$MARZO - data_modelos$DEMANDA_MEDIA)^2 +
  (data_modelos$ABRIL - data_modelos$DEMANDA_MEDIA)^2 +
  (data_modelos$MAYO - data_modelos$DEMANDA_MEDIA)^2 +
  (data_modelos$JUNIO - data_modelos$DEMANDA_MEDIA)^2 +
  (data_modelos$JULIO - data_modelos$DEMANDA_MEDIA)^2 +
  (data_modelos$AGOSTO - data_modelos$DEMANDA_MEDIA)^2 +
  (data_modelos$SETIEMBRE - data_modelos$DEMANDA_MEDIA)^2 +
  (data_modelos$OCTUBRE - data_modelos$DEMANDA_MEDIA)^2 +
  (data_modelos$NOVIEMBRE - data_modelos$DEMANDA_MEDIA)^2 +
  (data_modelos$DICIEMBRE - data_modelos$DEMANDA_MEDIA)^2)/12
#Calcular el coeficiente de variabilidad
data_modelos$CV <- data_modelos$DEMANDA_VAR /
  (data_modelos$DEMANDA_MEDIA^2)
#----- HALLAR POLITICA OPTIMA -----
#Hallar cantidad de pedido óptima y*
data_modelos$cantidad_opt <- sqrt((2*data_modelos$COSTO_PREPARACION_K*
  data_modelos$DEMANDA)/
  (data_modelos$COSTO_RETENCION_h))
#Hallar tiempo de pedido óptima T*
data_modelos$tiempo_opt <- sqrt((2*data_modelos$COSTO_PREPARACION_K)/
  (data_modelos$DEMANDA *
  data_modelos$COSTO_RETENCION_h)) * 260
#Hallar el costo total del inventario CTI(y*)
data_modelos$CTI_y <- sqrt(2 * data_modelos$COSTO_RETENCION_h *
  data_modelos$COSTO_PREPARACION_K *
  data_modelos$DEMANDA) + data_modelos$DEMANDA *
  data_modelos$COSTO_COMPRA_C
#Hallar el punto de reorden (R)

```

```

data_modelos$R <- data_modelos$TIEMPO_ENTREGA_L * ((data_modelos$DEMANDA)/
                                                    (260))

#Mostrar Los resultados
data_modelos %>% select(IDPROD, cantidad_opt, tiempo_opt, CTI_y, R)

#-----          GRAFICO DEMANDA POR MES          -----
data_grafico <- data_modelos %>% select(IDPROD, ENERO, FEBRERO, MARZO, ABRIL,
                                         MAYO, JUNIO, JULIO, AGOSTO,
                                         SETIEMBRE, OCTUBRE, NOVIEMBRE,
                                         DICIEMBRE)
data <- data_grafico %>%
  pivot_longer(
    cols = -IDPROD,          # todas Las columnas excepto PRODUCTO
    names_to = "MES",        # nueva columna con Los nombres de Los meses
    values_to = "CANTIDAD"   # nueva columna con Los valores
  )

data$MES <- factor(data$MES, levels = meses_es)
#PROD001
PROD001 <- data %>% filter(IDPROD == "PROD001")
ggplot(PROD001, aes(x = MES, y = CANTIDAD)) +
  geom_line(group = 1, color = "blue", linetype = "solid") +
  theme_minimal_hgrid() +
  labs(x = "Mes", y = "Cantidad") +
  theme(
    plot.background = element_rect(fill = "white"),
    legend.position = "none",
    plot.title = element_blank(),
    plot.subtitle = element_blank(),
    axis.title.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
    axis.title.x = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
    axis.text.x = element_text(size = 8, angle = 60, vjust = 0.5,
                                face = "bold", color = "black"),
    axis.text.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black")
  ) +
  geom_label(
    data = PROD001,
    aes(label = paste0(CANTIDAD)),
    size = 2.8,
    label.padding = unit(0.5, "lines"),
    label.r = unit(0.15, "lines"),
    fontface = "bold",
    color = "black",
    fill = "white"
  )

#PROD002
PROD002 <- data %>% filter(IDPROD == "PROD002")
ggplot(PROD002, aes(x = MES, y = CANTIDAD)) +

```



```

geom_line(group = 1, color = "blue", linetype = "solid") +
theme_minimal_hgrid() +
labs(x = "Mes", y = "Cantidad") +
theme(
  plot.background = element_rect(fill = "white"),
  legend.position = "none",
  plot.title = element_blank(),
  plot.subtitle = element_blank(),
  axis.title.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
  axis.title.x = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
  axis.text.x = element_text(size = 8, angle = 60, vjust = 0.5,
                             face = "bold", color = "black"),
  axis.text.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black")
) +
geom_label(
  data = PROD002,
  aes(label = paste0(CANTIDAD)),
  size = 2.8,
  label.padding = unit(0.5, "lines"),
  label.r = unit(0.15, "lines"),
  fontface = "bold",
  color = "black",
  fill = "white"
)

#PROD003
PROD003 <- data %>% filter(IDPROD == "PROD003")
ggplot(PROD003, aes(x = MES, y = CANTIDAD)) +
  geom_line(group = 1, color = "blue", linetype = "solid") +
  theme_minimal_hgrid() +
  labs(x = "Mes", y = "Cantidad") +
  theme(
    plot.background = element_rect(fill = "white"),
    legend.position = "none",
    plot.title = element_blank(),
    plot.subtitle = element_blank(),
    axis.title.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
    axis.title.x = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
    axis.text.x = element_text(size = 8, angle = 60, vjust = 0.5,
                              face = "bold", color = "black"),
    axis.text.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black")
  ) +
  geom_label(
    data = PROD003,
    aes(label = paste0(CANTIDAD)),
    size = 2.8,
    label.padding = unit(0.5, "lines"),
    label.r = unit(0.15, "lines"),
    fontface = "bold",
    color = "black",
  )

```

```

    fill = "white"
  )

#PROD004
PROD004 <- data %>% filter(IDPROD == "PROD004")
ggplot(PROD004, aes(x = MES, y = CANTIDAD)) +
  geom_line(group = 1, color = "blue", linetype = "solid") +
  theme_minimal_hgrid() +
  labs(x = "Mes", y = "Cantidad") +
  theme(
    plot.background = element_rect(fill = "white"),
    legend.position = "none",
    plot.title = element_blank(),
    plot.subtitle = element_blank(),
    axis.title.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
    axis.title.x = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
    axis.text.x = element_text(size = 8, angle = 60, vjust = 0.5,
                               face = "bold", color = "black"),
    axis.text.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black")
  ) +
  geom_label(
    data = PROD004,
    aes(label = paste0(CANTIDAD)),
    size = 2.8,
    label.padding = unit(0.5, "lines"),
    label.r = unit(0.15, "lines"),
    fontface = "bold",
    color = "black",
    fill = "white"
  )

#PROD005
PROD005 <- data %>% filter(IDPROD == "PROD005")
ggplot(PROD005, aes(x = MES, y = CANTIDAD)) +
  geom_line(group = 1, color = "blue", linetype = "solid") +
  theme_minimal_hgrid() +
  labs(x = "Mes", y = "Cantidad") +
  theme(
    plot.background = element_rect(fill = "white"),
    legend.position = "none",
    plot.title = element_blank(),
    plot.subtitle = element_blank(),
    axis.title.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
    axis.title.x = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
    axis.text.x = element_text(size = 8, angle = 60, vjust = 0.5,
                               face = "bold", color = "black"),
    axis.text.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black")
  ) +
  geom_label(
    data = PROD005,

```

```

    aes(label = paste0(CANTIDAD)),
    size = 2.8,
    label.padding = unit(0.5, "lines"),
    label.r = unit(0.15, "lines"),
    fontface = "bold",
    color = "black",
    fill = "white"
  )
)

#PROD006
PROD006 <- data %>% filter(IDPROD == "PROD006")
ggplot(PROD006, aes(x = MES, y = CANTIDAD)) +
  geom_line(group = 1, color = "blue", linetype = "solid") +
  theme_minimal_hgrid() +
  labs(x = "Mes", y = "Cantidad") +
  theme(
    plot.background = element_rect(fill = "white"),
    legend.position = "none",
    plot.title = element_blank(),
    plot.subtitle = element_blank(),
    axis.title.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
    axis.title.x = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
    axis.text.x = element_text(size = 8, angle = 60, vjust = 0.5,
                                face = "bold", color = "black"),
    axis.text.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black")
  ) +
  geom_label(
    data = PROD006,
    aes(label = paste0(CANTIDAD)),
    size = 2.8,
    label.padding = unit(0.5, "lines"),
    label.r = unit(0.15, "lines"),
    fontface = "bold",
    color = "black",
    fill = "white"
  )
)

#PROD007
PROD007 <- data %>% filter(IDPROD == "PROD007")
ggplot(PROD007, aes(x = MES, y = CANTIDAD)) +
  geom_line(group = 1, color = "blue", linetype = "solid") +
  theme_minimal_hgrid() +
  labs(x = "Mes", y = "Cantidad") +
  theme(
    plot.background = element_rect(fill = "white"),
    legend.position = "none",
    plot.title = element_blank(),
    plot.subtitle = element_blank(),
    axis.title.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
    axis.title.x = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),

```

```

axis.text.x = element_text(size = 8, angle = 60, vjust = 0.5,
                             face = "bold", color = "black"),
axis.text.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black")
) +
geom_label(
  data = PROD007,
  aes(label = paste0(CANTIDAD)),
  size = 2.8,
  label.padding = unit(0.5, "lines"),
  label.r = unit(0.15, "lines"),
  fontface = "bold",
  color = "black",
  fill = "white"
)

#PROD008
PROD008 <- data %>% filter(IDPROD == "PROD008")
ggplot(PROD008, aes(x = MES, y = CANTIDAD)) +
  geom_line(group = 1, color = "blue", linetype = "solid") +
  theme_minimal_hgrid() +
  labs(x = "Mes", y = "Cantidad") +
  theme(
    plot.background = element_rect(fill = "white"),
    legend.position = "none",
    plot.title = element_blank(),
    plot.subtitle = element_blank(),
    axis.title.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
    axis.title.x = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
    axis.text.x = element_text(size = 8, angle = 60, vjust = 0.5,
                                face = "bold", color = "black"),
    axis.text.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black")
  ) +
  geom_label(
    data = PROD008,
    aes(label = paste0(CANTIDAD)),
    size = 2.8,
    label.padding = unit(0.5, "lines"),
    label.r = unit(0.15, "lines"),
    fontface = "bold",
    color = "black",
    fill = "white"
  )

#PROD009
PROD009 <- data %>% filter(IDPROD == "PROD009")
ggplot(PROD009, aes(x = MES, y = CANTIDAD)) +
  geom_line(group = 1, color = "blue", linetype = "solid") +
  theme_minimal_hgrid() +
  labs(x = "Mes", y = "Cantidad") +
  theme(

```

```

plot.background = element_rect(fill = "white"),
legend.position = "none",
plot.title = element_blank(),
plot.subtitle = element_blank(),
axis.title.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
axis.title.x = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
axis.text.x = element_text(size = 8, angle = 60, vjust = 0.5,
                             face = "bold", color = "black"),
axis.text.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black")
) +
geom_label(
  data = PROD009,
  aes(label = paste0(CANTIDAD)),
  size = 2.8,
  label.padding = unit(0.5, "lines"),
  label.r = unit(0.15, "lines"),
  fontface = "bold",
  color = "black",
  fill = "white"
)

#PROD010
PROD010 <- data %>% filter(IDPROD == "PROD010")
ggplot(PROD010, aes(x = MES, y = CANTIDAD)) +
  geom_line(group = 1, color = "blue", linetype = "solid") +
  theme_minimal_hgrid() +
  labs(x = "Mes", y = "Cantidad") +
  theme(
    plot.background = element_rect(fill = "white"),
    legend.position = "none",
    plot.title = element_blank(),
    plot.subtitle = element_blank(),
    axis.title.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
    axis.title.x = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
    axis.text.x = element_text(size = 8, angle = 60, vjust = 0.5,
                                face = "bold", color = "black"),
    axis.text.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black")
  ) +
  geom_label(
    data = PROD010,
    aes(label = paste0(CANTIDAD)),
    size = 2.8,
    label.padding = unit(0.5, "lines"),
    label.r = unit(0.15, "lines"),
    fontface = "bold",
    color = "black",
    fill = "white"
  )

#PROD011

```

```

PROD011 <- data %>% filter(IDPROD == "PROD011")
ggplot(PROD011, aes(x = MES, y = CANTIDAD)) +
  geom_line(group = 1, color = "blue", linetype = "solid") +
  theme_minimal_hgrid() +
  labs(x = "Mes", y = "Cantidad") +
  theme(
    plot.background = element_rect(fill = "white"),
    legend.position = "none",
    plot.title = element_blank(),
    plot.subtitle = element_blank(),
    axis.title.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
    axis.title.x = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
    axis.text.x = element_text(size = 8, angle = 60, vjust = 0.5,
                                face = "bold", color = "black"),
    axis.text.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black")
  ) +
  geom_label(
    data = PROD011,
    aes(label = paste0(CANTIDAD)),
    size = 2.8,
    label.padding = unit(0.5, "lines"),
    label.r = unit(0.15, "lines"),
    fontface = "bold",
    color = "black",
    fill = "white"
  )

#PROD012
PROD012 <- data %>% filter(IDPROD == "PROD012")
ggplot(PROD012, aes(x = MES, y = CANTIDAD)) +
  geom_line(group = 1, color = "blue", linetype = "solid") +
  theme_minimal_hgrid() +
  labs(x = "Mes", y = "Cantidad") +
  theme(
    plot.background = element_rect(fill = "white"),
    legend.position = "none",
    plot.title = element_blank(),
    plot.subtitle = element_blank(),
    axis.title.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
    axis.title.x = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
    axis.text.x = element_text(size = 8, angle = 60, vjust = 0.5,
                                face = "bold", color = "black"),
    axis.text.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black")
  ) +
  geom_label(
    data = PROD012,
    aes(label = paste0(CANTIDAD)),
    size = 2.8,
    label.padding = unit(0.5, "lines"),
    label.r = unit(0.15, "lines"),

```

```

    fontface = "bold",
    color = "black",
    fill = "white"
  )

#PROD013
PROD013 <- data %>% filter(IDPROD == "PROD013")
ggplot(PROD013, aes(x = MES, y = CANTIDAD)) +
  geom_line(group = 1, color = "blue", linetype = "solid") +
  theme_minimal_hgrid() +
  labs(x = "Mes", y = "Cantidad") +
  theme(
    plot.background = element_rect(fill = "white"),
    legend.position = "none",
    plot.title = element_blank(),
    plot.subtitle = element_blank(),
    axis.title.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
    axis.title.x = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
    axis.text.x = element_text(size = 8, angle = 60, vjust = 0.5,
                                face = "bold", color = "black"),
    axis.text.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black")
  ) +
  geom_label(
    data = PROD013,
    aes(label = paste0(CANTIDAD)),
    size = 2.8,
    label.padding = unit(0.5, "lines"),
    label.r = unit(0.15, "lines"),
    fontface = "bold",
    color = "black",
    fill = "white"
  )

#PROD014
PROD014 <- data %>% filter(IDPROD == "PROD014")
ggplot(PROD014, aes(x = MES, y = CANTIDAD)) +
  geom_line(group = 1, color = "blue", linetype = "solid") +
  theme_minimal_hgrid() +
  labs(x = "Mes", y = "Cantidad") +
  theme(
    plot.background = element_rect(fill = "white"),
    legend.position = "none",
    plot.title = element_blank(),
    plot.subtitle = element_blank(),
    axis.title.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
    axis.title.x = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
    axis.text.x = element_text(size = 8, angle = 60, vjust = 0.5,
                                face = "bold", color = "black"),
    axis.text.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black")
  ) +

```

```

geom_label(
  data = PROD014,
  aes(label = paste0(CANTIDAD)),
  size = 2.8,
  label.padding = unit(0.5, "lines"),
  label.r = unit(0.15, "lines"),
  fontface = "bold",
  color = "black",
  fill = "white"
)

#PROD015
PROD015 <- data %>% filter(IDPROD == "PROD015")
ggplot(PROD015, aes(x = MES, y = CANTIDAD)) +
  geom_line(group = 1, color = "blue", linetype = "solid") +
  theme_minimal_hgrid() +
  labs(x = "Mes", y = "Cantidad") +
  theme(
    plot.background = element_rect(fill = "white"),
    legend.position = "none",
    plot.title = element_blank(),
    plot.subtitle = element_blank(),
    axis.title.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
    axis.title.x = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
    axis.text.x = element_text(size = 8, angle = 60, vjust = 0.5,
                                face = "bold", color = "black"),
    axis.text.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black")
  ) +
  geom_label(
    data = PROD015,
    aes(label = paste0(CANTIDAD)),
    size = 2.8,
    label.padding = unit(0.5, "lines"),
    label.r = unit(0.15, "lines"),
    fontface = "bold",
    color = "black",
    fill = "white"
  )

#PROD016
PROD016 <- data %>% filter(IDPROD == "PROD016")
ggplot(PROD016, aes(x = MES, y = CANTIDAD)) +
  geom_line(group = 1, color = "blue", linetype = "solid") +
  theme_minimal_hgrid() +
  labs(x = "Mes", y = "Cantidad") +
  theme(
    plot.background = element_rect(fill = "white"),
    legend.position = "none",
    plot.title = element_blank(),
    plot.subtitle = element_blank(),

```



```

axis.title.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
axis.title.x = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
axis.text.x = element_text(size = 8, angle = 60, vjust = 0.5,
                             face = "bold", color = "black"),
axis.text.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black")
) +
geom_label(
  data = PROD016,
  aes(label = paste0(CANTIDAD)),
  size = 2.8,
  label.padding = unit(0.5, "lines"),
  label.r = unit(0.15, "lines"),
  fontface = "bold",
  color = "black",
  fill = "white"
)

#PROD017
PROD017 <- data %>% filter(IDPROD == "PROD017")
ggplot(PROD017, aes(x = MES, y = CANTIDAD)) +
  geom_line(group = 1, color = "blue", linetype = "solid") +
  theme_minimal_hgrid() +
  labs(x = "Mes", y = "Cantidad") +
  theme(
    plot.background = element_rect(fill = "white"),
    legend.position = "none",
    plot.title = element_blank(),
    plot.subtitle = element_blank(),
    axis.title.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
    axis.title.x = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
    axis.text.x = element_text(size = 8, angle = 60, vjust = 0.5,
                                face = "bold", color = "black"),
    axis.text.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black")
  ) +
  geom_label(
    data = PROD017,
    aes(label = paste0(CANTIDAD)),
    size = 2.8,
    label.padding = unit(0.5, "lines"),
    label.r = unit(0.15, "lines"),
    fontface = "bold",
    color = "black",
    fill = "white"
  )

#PROD018
PROD018 <- data %>% filter(IDPROD == "PROD018")
ggplot(PROD018, aes(x = MES, y = CANTIDAD)) +
  geom_line(group = 1, color = "blue", linetype = "solid") +
  theme_minimal_hgrid() +

```

```

labs(x = "Mes", y = "Cantidad") +
theme(
  plot.background = element_rect(fill = "white"),
  legend.position = "none",
  plot.title = element_blank(),
  plot.subtitle = element_blank(),
  axis.title.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
  axis.title.x = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black"),
  axis.text.x = element_text(size = 8, angle = 60, vjust = 0.5,
                             face = "bold", color = "black"),
  axis.text.y = element_text(face = "bold", size = 10, color = "black")
) +
geom_label(
  data = PROD018,
  aes(label = paste0(CANTIDAD)),
  size = 2.8,
  label.padding = unit(0.5, "lines"),
  label.r = unit(0.15, "lines"),
  fontface = "bold",
  color = "black",
  fill = "white"
)

```

184

Listo  Accesibilidad: todo correcto    -  85%

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	IDPROD	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	VOLUMEN	COSTO_COMPRA_C	COSTO_PREPARACION_K	COSTO_RETENCION_h	COSTO_ESCAFEZ_p	TIEMPO_ENTREGA_L
2	PROD001	53	44	8	31	16	35	21	58	34	39	50	20	42400	S/ 4,282.68	S/ 3.80	S/ 9.90	S/ 0.00	7
3	PROD002	7	8	7	11	4	7	8	8	9	8	8	7	63920	S/ 542.60	S/ 17.31	S/ 13.64	S/ 0.00	3
4	PROD003	20	25	26	34	19	28	33	30	30	30	28	18	140296	S/ 345.15	S/ 19.21	S/ 29.42	S/ 0.00	3
5	PROD004	36	50	53	62	32	55	64	55	58	59	52	36	28800	S/ 69.80	S/ 9.61	S/ 6.15	S/ 0.00	3
6	PROD005	37	50	53	62	32	55	64	56	59	59	53	36	52800	S/ 90.00	S/ 7.70	S/ 11.23	S/ 0.00	7
7	PROD006	36	50	53	62	32	55	64	55	58	59	52	36	54720	S/ 72.81	S/ 3.80	S/ 11.50	S/ 0.00	3
8	PROD007	2	7	4	4	2	3	8	7	7	5	4	4	30720	S/ 362.94	S/ 1.90	S/ 6.42	S/ 0.00	7
9	PROD008	20	24	4	16	6	14	12	17	12	17	20	7	57600	S/ 16.00	S/ 7.70	S/ 12.30	S/ 0.00	7
10	PROD009	36	50	53	62	32	55	64	55	58	59	52	36	40700	S/ 143.00	S/ 9.61	S/ 8.56	S/ 0.00	7
11	PROD010	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	36000	S/ 720.00	S/ 11.51	S/ 7.76	S/ 0.00	1
12	PROD011	54	69	66	72	43	73	78	76	71	77	69	50	92800	S/ 15.59	S/ 13.50	S/ 19.79	S/ 0.00	4
13	PROD012	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	36000	S/ 715.00	S/ 15.41	S/ 7.76	S/ 0.00	1
14	PROD013	17	17	11	12	9	16	11	19	13	13	14	7	29700	S/ 143.37	S/ 1.90	S/ 6.42	S/ 0.00	3
15	PROD014	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	36000	S/ 715.00	S/ 9.61	S/ 7.76	S/ 0.00	1
16	PROD015	11	14	11	16	8	12	14	14	16	15	16	12	85280	S/ 290.00	S/ 5.80	S/ 18.19	S/ 0.00	7
17	PROD016	41	63	60	65	39	64	78	65	69	68	70	47	10640	S/ 14.00	S/ 3.80	S/ 2.14	S/ 0.00	7
18	PROD017	30	29	40	55	24	47	53	46	51	45	47	27	10800	S/ 400.00	S/ 9.61	S/ 2.41	S/ 0.00	7
19	PROD018	6	8	7	6	3	4	8	5	9	5	9	6	2228696	S/ 39.84	S/ 11.51	S/ 473.40	S/ 0.00	7
20																			
21																			
22																			
23																			
24																			
25																			
26																			
27																			
28																			
29																			
30																			
31																			
32																			
33																			
34																			
35																			
36																			