



FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“MODELO DE CADENA DE MARKOV PARA MINIMIZAR COSTOS DE
INVENTARIO DE DEMANDA PROBABILÍSTICA EN LA EMPRESA DE
TRANSPORTE FABIÁN EXPRESS S.A.C.”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERA INDUSTRIAL**

AUTOR:

Bach. Sandra Pilar Calderón Goycochea

ASESOR:

Ing. Miguel Ángel Rodríguez Alza

Trujillo – Perú

2017

DEDICATORIA

A Dios por darme vida, salud y una familia maravillosa.

A mi madre Apolonia Goicochea, por su amor y esfuerzo para que yo pueda hacer realidad este proyecto; pues todo lo que soy y he logrado es gracias a ella.

A mi padre Wilmer Calderón, que aunque ya no está con nosotros, sé que estaría orgulloso de mí.

A mis hermanos, por brindarme su apoyo incondicional y su tiempo.

EPÍGRAFE

“El hombre que se levanta es aún más grande que el que no ha caído”

(Arenal, Concepción)

AGRADECIMIENTO

Al Sr. Henry Javier León Rodríguez, por facilitarme el acceso e información de su empresa para el desarrollo de mi tesis.

A mi asesor, el Ing. Miguel Ángel Rodríguez Alza, por su tiempo y guía en el proceso de desarrollo de la tesis.

PRESENTACIÓN

Señores Miembros del Jurado:

De conformidad y cumpliendo lo estipulado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Privada del Norte, para Optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial, pongo a vuestra consideración la presente Proyecto titulado:

“MODELO DE CADENA DE MARKOV PARA MINIMIZAR COSTOS DE INVENTARIO DE DEMANDA PROBABILÍSTICA EN LA EMPRESA DE TRANSPORTE FABIÁN EXPRESS S.A.C.”

El presente proyecto ha sido desarrollado durante los meses de abril a octubre del año 2017 y espero que el contenido de este estudio sirva de referencia para otros proyectos o investigaciones.

Bach. Sandra Pilar Calderón Goycochea

LISTA DE MIEMBROS DE LA EVALUACIÓN DE LA TESIS

Asesor:

Ing. Miguel Ángel Rodríguez Alza

Aprobado por:

Ing. Marcos Baca López

Ing. Ramiro Mas McGowen

Ing. Rafael Castillo Cabrera

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo general Minimizar los costos de inventario de la empresa de transporte de carga Fabián Express S.A.C. para esto se desarrolló un modelo de la Cadena de Markov, que es un modelo nuevo y desconocido en nuestro medio, para hacer pronósticos de la demanda probabilística de los repuestos y así tener una mejor gestión de requerimiento de los mismos.

En primer lugar se realizó un diagnóstico de la situación actual de la empresa Fabián Express S.A.C. para cada área de estudio. Seleccionando las áreas de Logística y Mantenimiento, puesto que, se diagnosticó que eran las de mayor problemática, ocasionando altos costos operativos.

Una vez culminada la etapa de la identificación de los problemas, se procedió a redactar el diagnóstico de la empresa, en el cual se tomó en cuenta todas las problemáticas que se evidenciaron con el fin de demostrar lo mencionado anteriormente. Posteriormente se realizó la priorización de la causas raíces mediante el diagrama de Pareto para dar paso a determinar el impacto económico que genera en la empresa estas problemáticas, representado en pérdidas monetarias.

El presente trabajo aplicativo detalla además las propuestas de mejora como son: Un modelo de Cadena de Markov y el Kardex que fueron evaluadas económica y financieramente. La propuesta de implementación que se pretende diseñar contiene procedimientos de desarrollo, formatos normalizados que permiten controlar los procesos de servicio de transporte y la gestión adecuada de almacenes e inventarios. El VAN fue de S/. 29,750.80, el B/C de 1.2 y la TIR de 70.14%, demostrando la rentabilidad de las propuestas implementadas

Finalmente y con toda la información analizada y recolectada; y a partir del diagnóstico que ha sido elaborado, se presentará un análisis de los resultados y discusión para poder corroborar con datos cuantitativos las evidencias presentadas y la mejora lograda con la implementación de un modelo de Cadena de Markov en la logística y mantenimiento; para reducir los costos operacionales de la empresa Fabián Express S.A.C.

ABSTRACT

The objective of the present work was to minimize the inventory costs of the cargo transport company Fabián Express S.A.C. for this a model of the Markov Chain was developed, which is a new and unknown model in our environment so as to make forecasts of the probabilistic demand of the spare parts and thus have a better management of the requirements of the same.

First, a diagnosis was made of the current situation of Fabián Express S.A.C. for each study area. Selecting the areas of Logistics and Maintenance, since it was diagnosed that they were the most problematic, causing high operating costs.

Once the stage of the identification of the problems was completed, a diagnosis of the company was made, which took into account all the problems that were evidenced in order to demonstrate the above mentioned. Subsequently, the root causes were prioritized through the Pareto diagram to give way to determine the economic impact generated in the company these problems represented in monetary losses.

The present work also details the proposals for improvements such as: a Markov Chain model and the Kardex that were evaluated economically and financially. The implementation proposal to be designed contains development procedures, standardized formats that allow controlling transport service processes and the proper management of warehouses and inventories. The NPV was S /. 29,750.80, the B / C of 1.2 and the IRR of 70.14%, demonstrating the profitability of the proposals implemented.

Finally and with all the information analyzed and collected; and from the diagnosis that has been elaborated, an analysis of the results and discussion will be presented in order to corroborate with quantitative data the evidences presented and the improvement achieved with the implementation of a Markov Chain model in logistics and maintenance to reduce costs of the company Fabián Express SAC.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|------|
| DEDICATORIA | ii |
| EPÍGRAFE | iii |
| AGRADECIMIENTO | iv |
| PRESENTACIÓN..... | v |
| RESUMEN | vii |
| ABSTRACT | viii |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS | ix |
| INDICE DE TABLAS Y FIGURAS..... | xii |
| ÍNDICE DE ANEXOS | xiv |
| INTRODUCCIÓN | xv |
| CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN | 1 |
| 1.1. Descripción del problema de investigación..... | 2 |
| 1.2. Formulación del problema | 5 |
| 1.3. Delimitación de la investigación..... | 5 |
| 1.3.1. Delimitación de la investigación | 5 |
| 1.3.2. Delimitación temporal..... | 5 |
| 1.3.3. Delimitación de contenido | 5 |
| 1.4. Objetivos..... | 6 |
| 1.4.1. Objetivo general | 6 |
| 1.4.2. Objetivos Específicos | 6 |
| 1.5. Justificación | 6 |
| 1.5.1. Justificación teórica | 6 |
| 1.5.2. Justificación práctica | 7 |
| 1.5.3. Justificación valorativa | 7 |
| 1.5.4. Justificación académica | 7 |
| 1.6. Tipo de Investigación..... | 7 |
| 1.6.1. Por la orientación | 7 |
| 1.6.2. Por el diseño de la investigación | 7 |
| 1.7. Hipótesis..... | 8 |
| 1.8. Variables..... | 8 |
| 1.8.1. Sistema de variables | 8 |
| 1.8.2. Operacionalización de variables..... | 9 |
| 1.9. Diseño de la Investigación..... | 11 |
| 1.9.1. Unidad de estudio | 11 |
| 1.9.2. Unidad de estudio | 11 |
| 1.9.3. Muestra | 11 |
| 1.9.4. Diseño de contrastación | 11 |
| CAPÍTULO 2: REVISIÓN DE LITERATURA..... | 12 |

| | |
|---|-----------|
| 2.1. Antecedentes de la investigación | 13 |
| 2.2. Base Teórica | 19 |
| 2.2.1. Origen de la teoría markoviana | 19 |
| 2.2.2. Procesos Estocásticos | 20 |
| 2.2.3. Cadenas de Markov | 22 |
| 2.2.4. Probabilidades de Transición en la n-ésima etapa..... | 26 |
| 2.2.5. Clasificación de Estados en una Cadena Markoviana | 28 |
| 2.2.6. Probabilidad de Estado Estable | 29 |
| 2.3. Definición de términos | 30 |
| CAPÍTULO 3: DIAGNÓSTICO DE LA REALIDAD ACTUAL..... | 31 |
| 3.1. Descripción general de la empresa | 32 |
| 3.1.1. Generalidades de la empresa | 32 |
| 3.1.2. Ubicación de la empresa | 32 |
| 3.1.3. Direccionamiento estratégico | 33 |
| 3.1.4. Competidores | 33 |
| 3.1.5. Clientes | 33 |
| 3.1.6. Principales Servicios | 34 |
| 3.1.7. Estructura organizacional..... | 34 |
| 3.1.8. Maquinaria y equipo | 35 |
| 3.2. Descripción particular del área de la empresa objeto de análisis | 36 |
| 3.2.1. Operaciones actuales de compra | 37 |
| 3.2.2. Operaciones actuales de almacén: | 38 |
| 3.3. Identificación del problema y causas..... | 40 |
| 3.3.1. Priorización de Causas Raíz | 40 |
| 3.3.2. Identificación de los indicadores..... | 43 |
| CAPÍTULO 4: PROPUESTA DE MEJORA | 44 |
| 4.1. Desarrollo de la matriz de indicadores de variables | 45 |
| 4.2. Propuestas | 47 |
| 4.2.1. Cadena de Markov | 47 |
| 4.2.2. Herramienta Kardex | 62 |
| CAPÍTULO 5: EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA | 72 |
| 5.1. Inversión de la propuesta | 73 |
| 5.2.1. Inversión para la propuesta de un modelo de Cadena de Markov | 73 |
| 5.2.2. Inversión para la propuesta la herramienta de Kardex..... | 74 |
| 5.2. Beneficios de la propuesta | 76 |
| 5.2.1. Beneficios de la propuesta de Cadena de Markov | 76 |
| 5.2.2. Beneficios de la propuesta de Kardex..... | 76 |
| 5.3. Evaluación económica..... | 77 |
| CAPÍTULO 6: RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 81 |
| 6.1. Resultados..... | 82 |
| 6.2. Discusión..... | 84 |
| 6.2.1. Propuesta de un modelo de Cadena de Markov | 84 |
| 6.2.2. Propuesta del Kardex..... | 85 |
| CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 88 |
| Conclusiones | 89 |

| | |
|-----------------------|----|
| Recomendaciones | 90 |
| Bibliografía | 91 |
| ANEXOS | 92 |

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Servicios e ingresos que se dejan de percibir por averías..... | 4 |
| Tabla 2: Operacionalización de variables..... | 9 |
| Tabla 3: Servicios brindados por la empresa. | 34 |
| Tabla 4: Tipo de vehículos..... | 36 |
| Tabla 5: Operaciones durante el proceso de compra y el tiempo usado en este por área indicada. | 37 |
| Tabla 6: Detalle de las operaciones frecuentes para el proceso de almacén. | 38 |
| Tabla 7: Causas Raíz del área de estudio de acuerdo a su nivel de influencia. | 40 |
| Tabla 8: Indicadores de las causas raíces de los problemas | 43 |
| Tabla 9: Matriz resumen de indicadores de variables | 46 |
| Tabla 10: Descripción del servicio de transporte..... | 49 |
| Tabla 11: Características de las unidades de transporte..... | 49 |
| Tabla 12: Perdidas de ingresos por los servicios no atendidos | 50 |
| Tabla 13: Comportamiento de la demanda del repuesto 1, año 2016 | 51 |
| Tabla 14: Elaboración de la matriz con los 13 estados | 54 |
| Tabla 15: Elaboración de la Matriz Ergodica..... | 55 |
| Tabla 16: Matriz con $m=13$ y $n=1$ para el repuesto 1 | 55 |
| Tabla 17: Matriz con $m=13$ y $n=2$ para el repuesto 1 | 56 |
| Tabla 18: Matriz con $m=13$ y $n=3$ para el repuesto 1 | 56 |
| Tabla 19: Matriz con $m=13$ y $n=4$ para el repuesto 1 | 57 |
| Tabla 20: Matriz con $m=13$ y $n=5$ para el repuesto 1 | 57 |
| Tabla 21: Simulación con una demanda promedio de 59 según Markov para el repuesto 1 | 58 |
| Tabla 22: Datos para el repuesto 1 | 59 |
| Tabla 23: Costo Total actual y con la propuesta de Markov..... | 59 |
| Tabla 24: Costo Total anual con el Model EOQ con faltantes con el dato de Markov.. | 61 |
| Tabla 25: Comparación de los costos usando los tres modelos presentados | 61 |
| Tabla 26: Cantidades y fechas de robos reportados en el 2016..... | 64 |
| Tabla 27 : Precio de los repuestos robados | 64 |
| Tabla 28: Costos generados por los robos reportados en el año 2016 | 65 |
| Tabla 29 : Repuestos sin rotación..... | 66 |
| Tabla 30 : Costo por mantener inventario de materiales sin rotación | 67 |
| Tabla 31: Costo de la gestión de inventarios actual..... | 67 |
| Tabla 32 : Kardex virtual para la empresa de transportes Fabián Express S.A.C. | 69 |
| Tabla 33 : Kardex físico para la empresa de transportes Fabián Express S.A.C..... | 70 |
| Tabla 34 : Costos perdidos antes y después del desarrollo del Kardex | 71 |
| Tabla 35: Inversión de personal para la Cadena de Markov | 73 |
| Tabla 36: Inversión de materiales y equipos para la Cadena de Markov..... | 73 |
| Tabla 37: Depreciación y reinversión de equipos para la Cadena de Markov | 73 |
| Tabla 38: Depreciación y reinversión de equipos para Cadena de Markov | 74 |
| Tabla 39: Depreciación y reinversión de equipos para herramienta Kardex..... | 75 |

| | |
|---|----|
| Tabla 40 : Resumen de costos de inversiones, depreciación y reinversiones por las herramientas de mejora..... | 75 |
| Tabla 41 : Beneficio de la propuesta de la Cadena de Markov | 76 |
| Tabla 42 : Beneficio de la propuesta de Kardex..... | 76 |
| Tabla 43: Requerimientos para elaboración del flujo de caja | 77 |
| Tabla 44 : Estado de Resultados y Flujo de Caja..... | 78 |
| Tabla 45 : Indicadores Económicos (VAN, TIR Y PRI)..... | 79 |
| Tabla 46: Indicadores Económicos (BC) | 80 |
| Tabla 47: Resumen de costos perdidos actuales y beneficio de las propuestas | 82 |

FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Ubicación de la empresa Fabián Express S.A.C..... | 32 |
| Figura 2: Estructura organizacional de Fabián Express S.A.C..... | 35 |
| Figura 3: Flujograma de compras y almacén | 39 |
| Figura 4:Ishikawa del área de Logística y mantenimiento de la empresa de Fabián Express S.A.C. | 41 |
| Figura 5: Diagrama de Pareto de las causas raíces..... | 42 |
| Figura 6: Gráfico de demanda aleatoria del Repuesto 1 | 53 |
| Figura 7 : Costo perdido actual por área..... | 82 |
| Tabla 8 : Participación de costos perdidos actuales y beneficio de las propuestas | 83 |
| Figura 9 : Beneficio por área de las propuestas | 83 |
| Figura 10: Valores actuales y meta de las causas raíces de la propuesta de la Cadena De Markov | 84 |
| Figura 11 : Costo actual y mejorado con el desarrollo de la Cadena de Markov | 85 |
| Figura 12: Valores actuales y meta de las causas raíces de la propuesta del Kardex. | 86 |
| Figura 13: Costo actual y mejorado con el desarrollo del Kardex..... | 86 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|---|-----|
| Anexo 1: Costos operativos de Fabián Express S.A.C..... | 93 |
| Anexo 2: Descripción de fallas de imprevistas y unidades de transporte | 95 |
| Anexo 3: Listado de repuestos y sus costos | 96 |
| Anexo 4: Desarrollo de la Cadena de Markov para los repuestos en estudio..... | 99 |
| Anexo 5: Encuesta de Matriz de Priorización..... | 130 |

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo aplicativo sobre la propuesta de implementación de un modelo de Cadena de Markov en la logística y mantenimiento para así minimizar los costos de inventario de la empresa Fabián Express S.A.C.

En el Capítulo I, se muestran los aspectos generales sobre el problema de la investigación como también el objetivo general y específico, justificación y la operacionalización de variables respecto a los indicadores desarrollados.

En el Capítulo II, se describen los planteamientos teóricos relacionados con la presente investigación, que servirán de base para el desarrollo de la propuesta. Así mismo se muestra los antecedentes relacionados con la propuesta.

En el Capítulo III, se describe el diagnóstico de la situación actual de la empresa, tanto para el área de producción y logística, identificando los problemas que conllevan a tener altos costos operativos. A la vez se detallan los procesos necesarios para el servicio de transporte de carga.

En el Capítulo IV, se describe las soluciones de las propuestas de mejora, y en conjunto se desarrolla y explica los costos actuales que se pierden por no contar con las herramientas de mejora.

En el Capítulo V, se desarrolla la evaluación económica financiera del proyecto, teniendo en cuenta la inversión y ahorro de la propuesta que ayudan a evaluar los indicadores económicos como el VAN, TIR y B/C.

En el Capítulo VI, se describe el análisis de los resultados obtenidos y discusión de los mismos, que corroboran la factibilidad de la propuesta en beneficio de la empresa.

Finalmente se plantean las conclusiones y recomendaciones como resultado del presente estudio.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES DE LA

INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema de investigación

Dentro del ámbito nacional se han identificado según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), hasta el año 2011, el número de 59,731 Tracto Remolcadores, pertenecientes a las empresas que cuentan con registro de habilitación para carga de mercancías, el cual tiene una vigencia de 10 años, tiempo que se requiere para ejercer el servicio debido a que este es un requisito que va detallado en la guía de remisión del transportista según la Ley N° 27181.

Dentro de la región La Libertad se han identificado hasta el año 2011, el número 10,888 unidades con placa que se han inscrito. En provincia se cuenta con un parque automotor de 2,114 unidades del tipo tracto remolcador, las cuales brindan servicio de carga de mercancías en la fecha del 2011, según el compendio estadístico del 2012 (INEI); estas unidades requieren de un mantenimiento para que estén operativas y cuando prestan servicio como empresas dedicadas al rubro de transporte, requieren de un presupuesto importante, siendo la gestión del inventario de los repuestos que se requieren para el mantenimiento, un considerable flujo financiero, por lo cual debe gestionarse adecuadamente de tal manera que se cuenten con el stock adecuado que permita dar mantenimiento a las unidades que generan sobre costos.

En este contexto se encuentra la empresa en estudio Fabián Express SAC, tiene tracto remolques o vehículos de carga pesada que están conformados por una serie de subsistemas, entre los que se puede nombrar: Lubricación, enfriamiento, combustible, aire, escape, eléctrico y subsistemas especiales. A su vez estos subsistemas tienen diferentes equipos como: Alternador, arranque, embrague, transmisión, bomba de agua y dirección; una gran cantidad de sensores eléctricos.

Actualmente la empresa cuenta con un sistema de mantenimiento preventivo, el cual ha establecido un orden de consumo continuo de

materiales, los cuales ya se tienen considerados dentro de los costos de la empresa, pero también existen los mantenimientos correctivos, los cuales se realizan cada vez que una unidad de transporte se paraliza por una serie de fallas catalogadas dentro del área de mantenimiento, dentro de su inventario de repuestos usados en el año 2014, se han identificado 108 tipos diferentes de repuestos, de los cuales según el área de mantenimiento 48 son usados en mantenimientos preventivos, quedando 60 repuestos los cuales se usan en un mantenimiento correctivo, siendo éste el problema de la empresa debido a que no se cuenta con una gestión eficiente, puesto que, el inventario está en función a la probabilidad porque las fallas que presentan los tracto camiones se dan en cualquier momento, por lo tanto se analiza la información de los materiales de uso correctivo.

Producto de la gestión actual de almacenamiento se ha detectado en los repuestos un índice de rotación muy bajo, por otro lado el área de operaciones de la empresa ha documentado servicios que se dejan de atender ocasionado por las unidades que no están operativas a tiempo, produciendo demoras en la atención y reclamos de los clientes, llegando a penalizaciones por incumplimiento de contratos, también la pérdida de clientes, que optan por empresas de transporte diferentes, esto sucede a pesar de que la empresa trabaja los 365 días del año, tiene que mejorar el servicio; pues los tracto camiones están parados por averías imprevistas; dejando de recibir ingresos por un monto de 81,780.00 soles, tal como se muestra en la Tabla 1. Además los costos operativos se muestran en el anexo 1.

Tabla 1: Servicios e ingresos que se dejan de percibir por averías

| ITEM | MES | SERV. QUE NO SE ATIENDEN | INDICADOR | PROMEDIO DE INGRESOS PERDIDOS TOTALES (S/) |
|-------|------------|--------------------------|------------|--|
| 1 | ENERO | 12 | TEMP. ALTA | 13,560.00 |
| 2 | FEBRERO | 9 | TEMP. ALTA | 10,170.00 |
| 3 | MARZO | 7 | TEM. BAJA | 7,910.00 |
| 4 | ABRIL | 4 | TEM. BAJA | 4,520.00 |
| 5 | MAYO | 5 | TEM. BAJA | 5,650.00 |
| 6 | JUNIO | 3 | TEM. MED | 3,390.00 |
| 7 | JULIO | 9 | TEM. ALTA | 10,170.00 |
| 8 | AGOSTO | 4 | TEM. MED | 4,520.00 |
| 9 | SEPTIEMBRE | 6 | TEM. BAJA | 7,200.00 |
| 10 | OCTUBRE | 5 | TEM. MED | 5,650.00 |
| 11 | NOVIEMBRE | 8 | TEMP. ALTA | 9,040.00 |
| 12 | DICIEMBRE | 6 | TEMP. ALTA | 6,780.00 |
| Total | | 78 | | 81,780.00 |

Fuente: La empresa

Según la información obtenida gracias al personal de operaciones y mantenimiento se detalla que la pérdida de tiempo en reparación de los tracto camiones es de (72 horas) por falta o el equivocado requerimiento de repuestos. Como la necesidad de repuestos obedece a una demanda probabilística basada en el tipo de falla que se pueda producir, se ha creído conveniente proponer un modelo de inventarios en base a la simulación de su demanda aplicando un modelo de cadena de Markov que contribuya a minimizar los costos que se generan y que permita una mejor gestión de inventarios, el adecuado abastecimiento de repuestos para el área de mantenimiento; logrando evitar pérdidas de servicios por

falta de unidades operativas y disminuyendo los costos de inventario, para que de esta manera finalmente se contribuya en la competitividad de la empresa.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el impacto del uso de un modelo de cadena de Markov en los costos de inventario de demanda probabilística en la empresa de Transporte Fabián Express S.A.C.?

1.3. Delimitación de la investigación

1.3.1. Delimitación de la investigación

El contexto espacial en el cual se enmarca el desarrollo de la investigación, es en la Empresa de transporte Fabián Express S.A.C. localizado en la calle Mauricio Simmons N° 773-B Urb. Las Quintanas, en la ciudad de Trujillo, en el departamento de La Libertad; lugar donde actualmente se desarrollan las actividades administrativas.

1.3.2. Delimitación temporal

El periodo de tiempo estipulado para el desarrollo del estudio de un Modelo de Cadena de Markov para minimizar costos de inventario de demanda probabilística, es a partir del mes de abril de 2017 al mes de octubre de 2017.

1.3.3. Delimitación de contenido

En el marco del contenido, se desarrolla el estudio en una empresa dedicada al transporte de carga pesada. Las limitaciones son:

El estudio es enfocado a una empresa en particular que permitió la apertura, pero bajo ciertos lineamientos de confidencialidad de la información.

La investigación está enmarcada en los campos de producción, Logística y la Investigación de Operaciones.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Minimizar los costos de inventario de demanda probabilística en la empresa de transporte Fabián Express S.A.C., mediante un modelo de cadena de markov.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Análisis y diagnóstico de los tipos de fallas que se presentan.
- Calcular mediante la cadena de markov las probabilidades de demanda de repuestos solicitados por el área de mantenimiento.
- Elaborar un modelo de simulación para hallar la demanda de repuestos.
- Evaluar económicamente el modelo propuesto.

1.5. Justificación

1.5.1. Justificación teórica

El presente estudio busca contribuir mediante el tratamiento de la información relevante para conocer que en la actualidad los modelos matemáticos son una herramienta común que ha permitido ahorrar dinero a muchas compañías y negocios, incluyendo industrias medianas y pequeñas en distintos países de mundo.

1.5.2. Justificación práctica

Es importante, ya que, el propósito de este trabajo es anticiparse a realizar pedidos de repuestos en cantidades suficientes para cubrir la demanda, así evitar inconvenientes a los clientes por no poder ser atendidos en los servicios de carga a tiempo por la escasez en el inventario de los repuestos solicitados por el área de mantenimiento

1.5.3. Justificación valorativa

El estudio se justifica, ya que, se necesita realizar un análisis de la demanda aleatoria de repuestos de la empresa Fabián Express S.A.C.

1.5.4. Justificación académica

La realización del estudio se justifica, pues con la utilización de técnicas de Investigación de Operaciones en el área de logística de la empresa de transportes Fabián Express S.A.C., se ayudará a reducir los costos de inventario de la misma. Pretende a su vez ser generadora de argumentos referenciales a futuras investigaciones para los estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial.

1.6. Tipo de Investigación

1.6.1. Por la orientación

- Aplicada proyectista.

1.6.2. Por el diseño de la investigación

- Pre-Experimental

1.7. Hipótesis

El uso de un modelo de cadena de Markov disminuye los costos de inventario de demanda probabilística en la empresa de Transporte Fabián Express S.A.C.

1.8. Variables

1.8.1. Sistema de variables

- **Variable independiente:**

Cadena de Markov

Definición conceptual: Matriz de relación de estados con una relación de probabilidad. Su característica es que, es una matriz cuadrada cuya multiplicación genera una probabilidad de cambio de un estado a otro.

Definición operacional: Se va a calcular el estado estable mediante la multiplicación de la matriz, donde las probabilidades llegan a obtener valores iguales en una columna.

- **Variable dependiente.**

Costos de inventarios de demanda probabilística

Definición conceptual: Cantidad de dinero que se tiene inmovilizado por repuestos acumulados y sin uso.

Definición operacional: Cálculo de costos de compra, costo de inventario y costos de pedidos.

1.8.2. Operacionalización de variables

Tabla 2: Operacionalización de variables

| VARIABLE | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DEFINICIÓN OPERACIONAL | INDICADORES | ESCALA DE MEDICIÓN |
|---|---|--|---|--------------------|
| <p>Cadenas de Markov</p> <p>Variable independiente</p> | <p>Matriz de relación de estados con una relación de probabilidad, su característica es que es una matriz cuadrada y cuya multiplicación genera una probabilidad de cambio de un estado a otro.</p> | <p>Se va a calcular el estado estable mediante la multiplicación de la matriz, donde las probabilidades llegan a obtener valores iguales en una columna.</p> | <p>A_i=Matriz inicial</p> <p>Matriz de Estado Estable:</p> <p>$A_j = A_i * A_i \dots$</p> <p>Hasta que las probabilidades sean iguales.</p> | <p>Razón</p> |

| | | | | |
|---|---|---|---|--------------|
| <p>Costos de inventario de demanda probabilística.</p> <p>Variable dependiente</p> | <p>Cantidad de dinero que se tiene inmovilizado por repuestos acumulados y sin uso.</p> | <p>Cálculo de costos de compra, costo de inventario y costos pedidos.</p> | <p>$Ct = K \cdot D / Q + 1/2 \cdot Q \cdot i \cdot c + c \cdot D$</p> <p>K= Costo fijo de compra</p> <p>D=Demanda anual</p> <p>Q=lote de compra</p> <p>C= Costo unitario</p> <p>I= Tasa de interés</p> | <p>Razón</p> |
|---|---|---|---|--------------|

Fuente: Elaboración propia

1.9. Diseño de la Investigación

1.9.1. Unidad de estudio

Empresa de Transporte Fabián Express S.A.C.

1.9.2. Unidad de estudio

Colaboradores de la empresa de Transporte Fabián Express S.A.C.

1.9.3. Muestra

Áreas de logística, y manteniendo de la empresa de Transporte Fabián Express S.A.C.

1.9.4. Diseño de contrastación

Procesos en las áreas de logística y mantenimiento de servicio de transporte de carga de la empresa de Fabián Express S.A.C.

G: O1 \longrightarrow X \longrightarrow O2

Dónde:

G: Empresa de transporte Fabián Express S.A.C.

O1: Costos Operacionales antes de la propuesta de un modelo de Cadena de Markov en la logística y mantenimiento de los servicios de transporte.

X: Estímulo> Propuesta de implementación de un modelo de Cadena de Markov en la logística y mantenimiento de los servicios de transporte

O2: Costos Operacionales después de la propuesta de un modelo de Cadena de Markov en la logística y mantenimiento de los servicios de transporte.

CAPÍTULO 2

REVISIÓN DE

LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

A. Internacional

Título: “Aplicación de cadenas de Markov para el análisis y pronóstico de series de tiempo”

Autor: Carlos Andrés Acevedo Beltrán

Universidad: Universidad Industrial de Santander

Año: 2011

Este proyecto busca analizar la factibilidad del uso de cadenas de Markov de primer orden y de orden superior para realizar pronósticos de series de tiempo específicamente tomando en cuenta una serie de precios, con lo cual se desea analizar la viabilidad de poder utilizar otro método alternativo a los conocidos hoy en día, todo esto con el fin de contar con más herramientas al momento de realizar un pronóstico veraz y reducir el riesgo presente en la toma de decisiones ya sea de tipo empresarial o inversionista. Para el desarrollo de este proyecto se recolectaron los datos correspondientes a los precios del Café registrados desde Enero hasta Mayo del presente año. Con estos datos en primer lugar se analizaron los componentes estadísticos y el respectivo comportamiento de la serie, luego se clasificaron por rangos los cuales formaron los respectivos estados de la cadena de Markov y a continuación se aplicaron los modelos de primer orden y de orden superior de Markov para obtener los respectivos pronósticos, luego se halló la precisión de estos valores de pronóstico y se aplicaron las respectivas mediciones del error, simultáneamente se utilizaron los métodos de media móvil y de atenuación exponencial para hacer la respectiva comparación con los modelos de Markov para analizar la efectividad de estos modelos frente a otros modelos de pronóstico de uso común. Al final se puede observar que tanto el modelo de primer orden como el de orden superior presentan un buen comportamiento al hacer los respectivos pronósticos en el corto plazo frente a los otros modelos comparados, teniendo en cuenta que la serie de precios presentó un comportamiento tendencial.

Conclusiones: Durante el desarrollo del presente trabajo de

investigación se realizaron diferentes pruebas con el objetivo de analizar y verificar la efectividad de utilizar los modelos de cadenas de Markov de primer orden y de orden superior en la realización de pronósticos utilizando series de precios. De acuerdo a las diferentes pruebas realizadas a través del análisis y realización de pronósticos de la serie de precios del Café se pueden considerar las siguientes conclusiones: a) No se considera como método confiable la utilización del modelo de Markov de orden uno para realizar pronósticos a largo plazo. b) A medida que va aumentando el orden de Markov, va mejorando en la precisión de los pronósticos realizados. c) No se obtuvieron diferencias significativas al hacer la comparación de los errores del modelo de Markov de orden superior con los errores del modelo de media móvil y presentó un mejor comportamiento que el modelo de atenuación exponencial doble. Este análisis representa la introducción de un modelo nuevo y desconocido en nuestro medio como es el modelo de cadenas de Markov de orden superior para hacer pronósticos de series de tiempo, se hizo una prueba piloto con la serie de precios del café que tenía un comportamiento tendencial polinómico y se obtuvieron buenos resultados a pesar de que este modelo está básicamente formulado para trabajar series de tiempo con datos de demandas y de comportamiento estacionario, por lo tanto y haciendo la comparación con otros modelos diseñados para pronósticos de series con tendencia se puede establecer que este modelo puede dar buenos resultados de acuerdo a la cantidad de estados y al número de rezagos que se tengan en cuenta, por lo cual representa una nueva alternativa para seguir investigando y utilizando este modelo para pronosticar series de diferentes tipos de datos que representen características diferentes a la serie de datos utilizada en esta investigación.

B. Nacional

Título: “Aplicación de las cadenas ocultas de Markov para la preferencia de los consumidores en el mercado”

Autor: Miguel Ángel Patiño Antonioli

Universidad: Pontificia Universidad Católica del Perú

Año: 2011

Debido al ambiente competitivo en las industrias peruanas del sector consumo masivo, es de gran interés poder determinar las preferencias de los consumidores para poder estimar de manera más eficiente sus necesidades. Es en este punto importante el uso de las Herramientas Estocásticas para el desarrollo de predicciones a largo plazo, evaluar posibles estados de movimiento entre marcas y determinar factores claves en el proceso de elección del consumidor. Este análisis se hace posible mediante el uso de modelos Estocásticos, pues se basan en Probabilidades, útiles al estimar las decisiones de los potenciales clientes. Este documento tiene como objetivo desarrollar a fondo y presentar los modelos ocultos markovianos, con la finalidad de orientar el análisis hacia los Procesos Estocásticos de tiempo discreto, que son las Cadenas de Markov, con la evidencia del supuesto de la optimización del análisis a través del reconocimiento de **Estados Ocultos**, difíciles de definir y que en los modelos markovianos ocultos, son el pilar para obtener los resultados deseados. Se tocarán temas relacionados y se explicarán los conceptos necesarios para poder entender las **Cadenas Ocultas de Markov** y su aplicación directa al sector consumo masivo. Finalmente, se demostrará su directa aplicación al tema de preferencias y los aportes para futuros estudios relacionados. En cuanto a la aplicación al tema de preferencias de los consumidores, especialmente en el mercado cervecero, cada vez cambiante, se eligieron las principales dos variables críticas que afectan de manera determinante y que además alimentan la situación de incertidumbre por la que una modelación matemática - estocástica es una de las soluciones más convenientes. Estas dos

variables son: el **Volumen de Ventas** de cada empresa (de manera estimada) y las **Transiciones** entre marcas representativas por empresa. Para esas dos variables entonces, nuestro análisis tratará de poner a prueba al Modelamiento Clásico de Markov contra el Modelamiento Oculto.

Conclusiones: Evidentemente, las CM Ocultas presentan una mayor precisión en la estimación de probabilidades, pero requieren que dichos estados estén soportados por el contexto "estable".

Como se habrá podido observar, las CM Ocultas para este reducido caso presenta una menor eficiencia debido a la muestra pequeña pero cabe resaltar que este fue el análisis de una simulación, es decir, que se puede esperar otro comportamiento a Largo Plazo. De todas formas, las CM Ocultas muestran un gran desempeño la estimación de nuestras variables estocásticas. Todo Análisis de un Proceso Estocástico requiere, para empezar de data fidedigna, debido a que todo el análisis podría derrumbarse si es que nuestro input no es tan bueno.

En el momento de decidir en hacer un Análisis Markoviano, lo más difícil es decidir cuáles serían los estados con los cuales trabajaremos, y por ende, es esta la parte más importante del análisis, ya que de esos estados dependerá el método para calcular las probabilidades de transición.

Algunas veces, las probabilidades de transición no estarán a nuestra disposición, por ende, se debe "inventar" algún método por el cual encontremos o estimemos con cierto margen de error nuestras p_{ij} .

En el segundo Análisis de las Cadenas Ocultas para la variable Transiciones, lo que se estuvo estimando son tiempos promedio hasta que un consumidor deje de beber la marca de la empresa i , y las correspondientes probabilidades de caer en cualquiera de los estados absorbentes. Por ende, la conclusión que sacamos viendo los resultados, es que el modelamiento oculto es más conservador que el Clásico, debido a que muestra tiempos menores, asociados a tener estrategias de posicionamiento de mercado más activas pues por dichos valores, las

empresas deberán estar más preparadas ante cualquier alejamiento de sus clientes potenciales, en cambio, la modelación clásica arroja tiempos más grandes, es decir, son más propensas al riesgo de perder al cliente.

Título: “Aplicación de las cadenas de Markov en la determinación de circuitos turísticos del Perú”

Autor: Víctor Daniel Farro Díaz

Universidad: Pontificia Universidad Católica del Perú

Año: 2010

La presente investigación tiene como objetivos presentar los departamentos o gobiernos regionales con mayor probabilidad de ser visitados por un turista, nacional o internacional, y brindar las rutas con el menor recorrido entre dichos departamentos.

La base teórica del estudio realizado está comprendida primordialmente por lo temas de Cadenas de Markov y Diseño de Rutas, con estos temas se puede dar la aplicación a la investigación realizada, además se ha desarrollado los temas de Vectores y Muestreo Estadístico que sirven de apoyo para la aplicación de los primeros temas mencionados.

El estudio del sector turístico tiene como finalidad brindar una imagen de cómo se encuentra actualmente y cómo ha venido mejorando este sector, con lo cual, se puede observar que su aporte ha sido cada vez mayor para nuestro país, por lo que deja claro por qué el interés en desarrollar esta investigación relacionada al turismo.

La aplicación de las Cadenas de Markov a los recorridos turísticos se evidencia al formular los modelos o matrices para cada macro-región (norte, centro y sur) y a nivel nacional, los que al desarrollarlos, brindan las probabilidades de llegada de los turistas a los distintos departamentos. La obtención de datos se realizó en base a encuestas a turistas, internos o externos, e información dada por agencias de viaje y turismo.

Para el diseño de rutas se utiliza el Método o Algoritmo “De Ahorros”, para lo cual sólo se usan los departamentos con mayor probabilidad y se

detallan las diferentes rutas que se puedan realizar, siempre teniendo en cuenta que el recorrido sea mínimo.

Finalmente, con los resultados obtenidos se observa que la principal ruta a nivel nacional con menor recorrido es: Lima – Arequipa – Puno – Cuzco – Ica – Lima, además se tienen las diferentes rutas que se desprenden de ésta, y las rutas por cada macro-región (norte, centro y sur).

Conclusiones: Las principales conclusiones que se obtienen de la presente investigación son:

Con el presente estudio, se concluye que los turistas tienen una tendencia a visitar ciertos lugares específicos, distribuidos de la siguiente forma:

Región Norte: Cajamarca, La Libertad, Lambayeque, Loreto y Piura.

Región Centro: Ancash, Junín y Lima.

Región Sur: Arequipa, Cusco, Ica, Puno y Tacna.

A Nivel Nacional: Arequipa, Cusco, Ica, Lima, Puno y Tacna.

Los cuales se han evidenciado en la aplicación de las Cadenas de Markov.

A pesar de la aplicación de dos transiciones distintas en las Cadenas de Markov: un viaje y tres noches; ambas muestran resultados (probabilidades de visitar un destino turístico) muy similares en los estados estables respectivos. Siendo las regiones más visitadas de cada macro-región, mostrados en el punto anterior, las mismas para cada transición usada.

Los resultados obtenidos por la aplicación de las Cadenas de Markov son útiles para las empresas a tomar decisiones estratégicas en el sector turismo, como es el caso de estrategias de expansión y/o estrategias de alianzas empresariales, para el sostenimiento y crecimiento de éstas en el mercado. Las empresas que se pueden beneficiar del presente estudio son las: cadenas de hoteles, cadenas de restaurantes, agencias de viaje y de turismo, entre otros.

La aplicación del Método “De Ahorros”, haciendo uso de las regiones con

mayor de probabilidad de ser visitados de cada macro-región y a nivel nacional, dan como resultado el menor recorrido posible entre dichas regiones, considerando el punto de partida en Lima, para lo cual también se muestran todas las combinaciones posibles entre las regiones. La existencia de la región Lima en cada circuito se debe a que es más probable que un turista extranjero ingrese y se retire por dicha localidad, específicamente por el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez; lo cual no indica que esta ciudad sea visitada.

Las rutas encontradas según el Método “De Ahorros”, sirve como referencia para diferentes ideas de negocio, como son las estrategias de expansión y crecimiento en el mercado, creación de nuevos productos, entre otros, relacionado con el turismo, las empresas que pueden hacer uso de estos resultados son las agencias de turismo, agencias de viaje, transporte interprovincial, entre otras; ya que en el presente estudio se muestran las diferentes rutas a nivel nacional y macro-regional.

2.2. Base Teórica

2.2.1. Origen de la teoría markoviana

Esta teoría debe su nombre a Andrei Andreyevich Markov quien nació en San Petersburgo, Rusia, el 14 de Junio de 1856. Estudió matemáticas en la Universidad de San Petersburgo y se graduó en el año 1878. En sus inicios como docente, alrededor del año 1886, focalizó su trabajo en análisis y teoría del número, fracciones continuas, límite de integrales, teoría de aproximación y la serie de convergencias. También estuvo interesado en la poesía e hizo estudios de los diversos estilos poéticos. Estudió, entre otros muchos aspectos, las construcciones lingüísticas a partir del cálculo matemático (1913). Así, por ejemplo, analizó la producción literaria del gran poeta ruso Puschkin, llamada “Eugene Onieguin”, y dedujo que las letras del alfabeto cirílico,

como las de cualquier otro alfabeto, iban apareciendo relacionadas con las que las precedían en la escritura. La nueva letra está determinada por la anterior, pero es independiente de la manera en la que aparece respecto de las anteriores.

Markov es recordado por su estudio de cadenas secuenciales, que consisten en variables al azar, en las que la variable futura es predeterminada por la preexistente, pero independiente de la manera que ésta se generó de sus precursores. Es decir, se trata de un sistema que sufre a lo largo del tiempo cambios de estado o transiciones aleatorias y las probabilidades que describen la forma en que el proceso evolucionará en el futuro, son independientes de los eventos ocurridos en el pasado. (WINSTON, 2005)

El sistema no está desprovisto de memoria en su totalidad, sólo guarda información del recuerdo más reciente de su pasado. (GORDON, 1997)

Es muy importante comentar que su estudio no estuvo basado en un simple análisis estadístico, sino que intentó aplicarlo a la generación de textos literarios.

Las cadenas de Markov se han aplicado en áreas diversas, como educación, comercialización, servicios de salud, finanzas, contabilidad y producción, tras los aportes de Norbert Wiener (1923) y Andrei Kolmogorov (1930).

2.2.2. Procesos Estocásticos

Los procesos estocásticos, son aquellos que evolucionan en el tiempo de una manera probabilística. Estos son de interés para describir el comportamiento de un sistema en operación durante algunos períodos, debido a que permiten su observación, control y modelamiento.

Se definen como procesos dependientes de leyes causales y probabilísticas, por lo que están sometidos al azar y son objeto de análisis estadístico. Este tipo de procesos son útiles para poder comprender la correlación, que estadísticamente significa la relación entre varios grupos de datos.

Para comprender los procesos estocásticos será importante suponer el escenario en el que se observan algunas características de un sistema en puntos discretos en el tiempo (identificados con 0,1, 2...). Sea X_t el valor de la característica del sistema en el tiempo y considerado como variable aleatoria.

Entonces, un proceso estocástico discreto en el tiempo es una descripción de la relación entre las variables aleatorias X_t : ($X_0, X_1, X_2 \dots$). Los procesos estocásticos expresados como variables aleatorias aportan información relevante de los procesos en análisis.

Por otro lado, conviene definir una matriz estocástica, la cual debe cumplir las siguientes condiciones:

$$P_{ij} \geq 0 \quad \square i, j \square 1, 2, 3, 4, \dots, r \quad (2.3.1.2.1)$$

$$\sum_{j=1}^r P_{ij} = 1 \quad \square i, j \square 1, 2, 3, 4, \dots, r \quad (2.3.1.2.2)$$

El proceso Estocástico X_t puede ser, por ejemplo, una representación matemática de la forma cómo evoluciona el clima en la ciudad de análisis a través del tiempo.

Estos procesos son denominados “Procesos Estocásticos de Tiempo Discreto con Espacio de Estado Finito” y son una característica de las Cadenas de Markov.

2.2.3. Cadenas de Markov

Las cadenas de Markov permiten conocer el gobierno y comportamiento de determinados tipos de procesos estocásticos.

Describen la forma en que evolucionará un proceso estocástico en el futuro y son independientes de los eventos ocurridos en el pasado, con excepción de su predecesor inmediato. Es un tipo especial de proceso en el tiempo, en el que se presenta una cantidad discreta de estados e instantes de tiempo.

Formalmente diremos que dado un evento de interés A perteneciente al espacio muestral Ω y que es integrado por un número de eventos finitos denominados “estados”.

Se dice que para un experimento de ensayos independientes Bernoulli con extracción al azar y reposición, la probabilidad de ocurrencia de un “éxito” a lo largo del muestreo $M = \{ m_1, m_2, m_3, \dots, m_n \}$ es constante e igual a “ p ”.

Por lo tanto se concluye que para un número finito de estados de probabilidad “ p ” constante, se cumple la siguiente propiedad descrita en la fórmula 1.3.1, la cual se aplica para todo evento del conjunto M .

$$P (X_{t+1} = j | X_0 = K_0; X_1 = K_1, \dots, X_{t-1} = K_{T-1}, X_t = i) = P (X_{t+1} = j | X_t = i)$$

(2.3.1.3.1)

La propiedad descrita anteriormente es la que define las Cadenas Markovianas, dado que, establece la probabilidad condicional de un suceso en el estado “ $t+1$ ”, dada la ocurrencia del evento “ t ”.

Se verifica la independencia de los eventos pasados, con la excepción del inmediato anterior.

Asimismo observamos que para toda i, j , se cumple:

$$P(X_{t+1} = j | X_t = i) = P(X_t = j | X_0 = i) = p_{ij} \quad (2.3.1.3.2)$$

De tal manera que se define la probabilidad de transición de 1 paso, es decir, de un solo estado en el tiempo, la cual tiene una probabilidad que no cambia mientras varía el tiempo, por lo que se le denomina “estacionaria”.

Análogamente, esta característica se puede observar en “n pasos”, tal como se puede observar en la ecuación 2.3.1.3.3 y de ella se desprende la matriz de transición de “n pasos” mostrada en 2.3.1.3.4.

$$P(X_{t+n} = j | X_t = i) = P(X_n = j | X_0 = i) = p_{ij} \quad (2.3.1.3.3)$$

$$P^n = \begin{pmatrix} p^{00} & \dots & p^{0M} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p^{M0} & \dots & p^{MM} \end{pmatrix} \quad (2.3.1.3.4)$$

Dados los estados i y j , la probabilidad de transición del estado i al estado j será denotada por p_{ij} y designa la probabilidad de que estado j suceda al estado i .

Estas probabilidades de transición siempre son no negativas. Todas las probabilidades de transición se ordenan en denominada Matriz de Transición de “n pasos”, donde cada nodo representa un elemento del espacio muestral (estado) y en la cual se presenta la particularidad de que la suma de cada renglón es igual a 1.

A) Ergodicidad

Un estado i es considerado estado transitorio si hay un estado j alcanzable desde i , pero no alcanzable desde el estado j .

Se denomina estado recurrente a aquel estado i que puede alcanzar un estado j y es alcanzable desde el estado j .

Una Cadena de Markov es denominada irreducible cuando presenta alguna de las siguientes características:

- Todos sus estados son recurrentes y por lo tanto la Cadena de Markov es recurrente.
- Todos sus estados son transitorios y por lo tanto la Cadena de Markov es transitoria.

Un estado i es periódico con período $k > 1$, si k es el menor número tal que todas las trayectorias que parten del estado i y regresan al estado i tienen una longitud múltiplo de k . Si un estado recurrente no es periódico, se le denomina aperiódico.

Una cadena de Markov es denominada irreducible, cuando presenta alguna de las siguientes características:

- Todos los estados son periódicos con período k y por lo tanto la Cadena de Markov es periódica de período k .
- Ningún estado es periódico, y por lo tanto la Cadena Markov es aperiodica.

Se llama Cadena de Markov Ergódica a aquella que presenta las siguientes características:

- La Cadena de Markov es Irreducible. Aplicar concepto
- La Cadena de Markov es recurrente. Aplicar concepto
- La Cadena de Markov es aperiódica. Aplicar concepto

La ergodicidad es un concepto sumamente importante en el análisis de las cadenas de Markov, pues tiene relación con el comportamiento a largo plazo del sistema. En el largo plazo, se

presenta la particularidad de que los estados se hacen estables y diferentes de cero, esto significa que se tiene un valor de probabilidad igual en cada columna de cada estado.

| | | | |
|----|----|----|----|
| | E1 | F2 | E3 |
| E1 | Px | Py | Pz |
| E2 | Px | Py | Pz |
| E3 | Px | Py | Pz |

$$P_x + P_y + P_z = 1$$

En un régimen permanente, todos los estados tienen una probabilidad no nula.

$$P_x > 0, P_y > 0, P_z > 0.$$

B) Cadenas Absorbentes

Un estado i será absorbente si se presenta el caso de que $p_{ij} = 1$, es decir una vez que se llega a este estado i , permanecerá en estado i .

Una Cadena de Markov es absorbente si presenta por lo menos un estado absorbente y es posible ir de cada estado no absorbente hasta por lo menos un estado absorbente. Si la cadena de Markov es finita y absorbente, se reordenan los estados transitorios y se obtiene una matriz ordenada de transición en la que se puede calcular:

- El número esperado de veces que se estará en un estado transitorio antes de llegar a un estado absorbente $(I - Q)^{-1}$. Es decir, es el tiempo promedio hasta caer en un Estado Absorbente.
- La probabilidad de caer en estados absorbentes $(I - Q)^{-1}R$.

Esto se desprende del hecho de que la matriz de transición puede ser escrita de la siguiente manera.

$$\mathbf{P} = \begin{array}{c} s-m \text{ filas} \\ m \text{ filas} \end{array} \begin{array}{cc} s-m & m \\ \text{columnas} & \text{columnas} \end{array} \left[\begin{array}{c|c} Q & R \\ \hline 0 & 1 \end{array} \right]$$

En donde se supone que hay $s-m$ estados transitorios y m estados absorbentes.

En esta matriz se presenta la submatriz Q , la cual representa los Estados No Absorbentes, la submatriz R a los Estados Absorbentes y la submatriz 1 a la matriz identidad.

2.2.4. Probabilidades de Transición en la n -ésima etapa

Las probabilidades de transición asociadas a los estados cumplen un rol, evidentemente, muy importante en el estudio de las Cadenas de Markov.

Dado el estado i en el tiempo m , la probabilidad de que n períodos después esté en el estado j , es independiente de m , por esa razón:

$$P(X_{m+n} = j | X_m = i) = P(X_n = j | X_0 = i) = P_{ij}(n) \quad (2.3.1.4.1)$$

Donde $P_{ij}(n)$ se denomina “probabilidad del n -ésimo paso de una transición del estado i al estado j ”.

En tal sentido, se puede decir que:

$$P_{ij}(n) = \text{ij-ésimo elemento de } P^n$$

Luego, utilizando la formulación realizada por Patrick Gordon, demostraremos el comportamiento asintótico de P^n .

Esto quiere decir que cuando n tiende al infinito, se comporta como una matriz estocástica con todas sus filas idénticas.

El simple hecho de que P^n sea una matriz, con sus términos acotados entre cero y uno, implica que:

“Todos los valores propios de una matriz estocástica tienen su módulo inferior o igual a 1”.

“Todo valor propio de módulo 1 de una matriz estocástica es raíz de la unidad”.

La teoría de matrices nos enseña que dada una matriz A cualquiera, con r filas y r columnas, compuesta por elementos reales o complejos, que admite diversos valores propios s_0, s_1, \dots, s_k , con ordines de multiplicidad respectivos de a_1, a_2, \dots, a_k , A^n , entonces A^n se puede escribir de la siguiente forma:

$$A^n = E_n + \sum_k c^{nk} B_K(n) \quad (2.3.1.4.2)$$

Donde:

E_n es una matriz que sólo existe si A admite el valor propio 0 y que en todos los casos es nula para n mayor o igual que r .

Los $B_K(n)$ son polinomios matriciales en n , de grados respectivos d_k , es decir, matrices cuyos términos son polinomios en n de grado menor o igual d_k (y algunos exactamente iguales a d_k), donde d_k representa la diferencia entre el orden de multiplicidad a_k de s_k , y la dimensión d_k del espacio propio asociado a s_k , de tal manera $1 \leq d_k \leq a_k$.

Utilizando las propiedades de los valores propios de una matriz estocástica, podremos dar a la ecuación (2.3.1.4.1) una forma particular, llamando s_0 al valor propio 1 y dividiendo en dos grupos los otros valores propios (no nulos).

2.2.5. Clasificación de Estados en una Cadena Markoviana

Las Cadenas de Markov presentan las siguientes propiedades.

Cualquier estado se comunica consigo mismo

$$(p_{ij}^{(0)}) = P(X_0=i | X_0=i) = 1$$

Si el estado i se comunica con el estado j , entonces el estado j se comunica con el estado i .

Si el estado i se comunica con el estado j y el estado j se comunica con el estado k , entonces el estado i se comunica con el estado k .

Es muy útil saber si un proceso que comienza en un estado regresará alguna vez a él. A partir de esta necesidad, surgen las siguientes definiciones que planteamos a continuación.

- Estado Transitorio: Se presenta este caso cuando el proceso ha entrado y salido de un estado y este nunca regresa a él. En tal sentido, se puede decir que el estado transitorio será visitado sólo un número finito de veces.
- Estado Recurrente: Se presenta este caso cuando el proceso, regresa a un estado, después de haber pasado por él. Por lo tanto es recurrente sí y sólo sí no es transitorio. Este estado será visitado un número infinito de veces.
- Estado Absorbente: Se presenta este caso cuando después de haber entrado a este, el proceso nunca saldrá de ahí. Por

lo tanto, se trata de un estado absorbente sí y sólo sí $P_{ij}=1$

- Estado Periódico: Se presenta este caso cuando la cadena de Markov presenta un período $k > 1$ y las trayectorias que conducen del estado i de regreso al estado i son múltiplos de k .
- Estado Ergódico: Se presenta este caso cuando un estado es recurrente y aperiódico. Una matriz ergódica presenta la particularidad de que sus probabilidades de transición de n pasos convergen a las probabilidades de estado estable conforme n se hace más grande.

2.2.6. Probabilidad de Estado Estable

Las Cadenas de Markov presentan la interesante característica de que conforme es lo suficientemente grande, todos los renglones de la matriz tienen elementos idénticos. En otras palabras podemos decir que los estados se hacen estables.

Esto significa que la probabilidad de que el sistema esté en cada estado j ya no depende del estado inicial del sistema.

Se llaman probabilidades de estado estable de la Cadena de Markov a aquellos valores j , obtenidos después de un número grande de transiciones. Estos valores son independientes de la probabilidad inicial definida para los estados.

2.3. Definición de términos

Costo de compra, se basa en el precio por unidad del artículo. Puede ser constante, o puede ofrecerse con descuento.

Costo de preparación, representa el costo fijo incurrido cuando se coloca un pedido.

Costo de almacenamiento o de reposición, representa el costo de mantener una existencia de inventario. Comprende el interés sobre el capital y el costo de almacenamiento, mantenimiento y manejo.

Costo de faltante, es la penalización en que se incurre cuando se terminan las existencias, incluye la pérdida potencial de ingresos y el costo, más subjetivo, de la buena voluntad del cliente.

Gestión de almacén: Se define como el proceso de la función logística que trata de recepción, almacenamiento y movimiento dentro de un mismo almacén hasta el punto de consumo de cualquier material (Roux, 2009).

Gestión de inventarios: Parte de la gestión de la cadena de suministro cuyo fin es poner a disposición de las áreas de producción o comercial una determinada cantidad de producto en el momento preciso, en el lugar oportuno y con el mínimo coste posible. (Logístico Diccionario, 2010)

Inventario: El inventario es un recurso almacenado al que se recurre para satisfacer una necesidad actual o futura. (Boubeta., 2006).

CAPÍTULO 3

DIAGNÓSTICO DE LA REALIDAD ACTUAL

3.1. Descripción general de la empresa

3.1.1. Generalidades de la empresa

La Empresa Fabián Express S.A.C., es la fusión de dos empresas familiares: Transportes Fabián y Transportes Fabián R, es fundada en enero del 2012, estas dos empresas juntas cuentan con más de catorce años de experiencia en el mercado local, siempre dedicándonos íntegramente en el rubro de Transporte de carga pesada; caracterizándonos por la Seguridad, Puntualidad, Honestidad y Rapidez con la que estamos acostumbrados a trabajar; cualidades que son nuestra Carta de Presentación.

3.1.2. Ubicación de la empresa

Lugar: Mauricio Simmons N° 773, Urb. Las Quintanas.

Distrito: Trujillo.

Provincia: Trujillo.

Departamento: La Libertad.

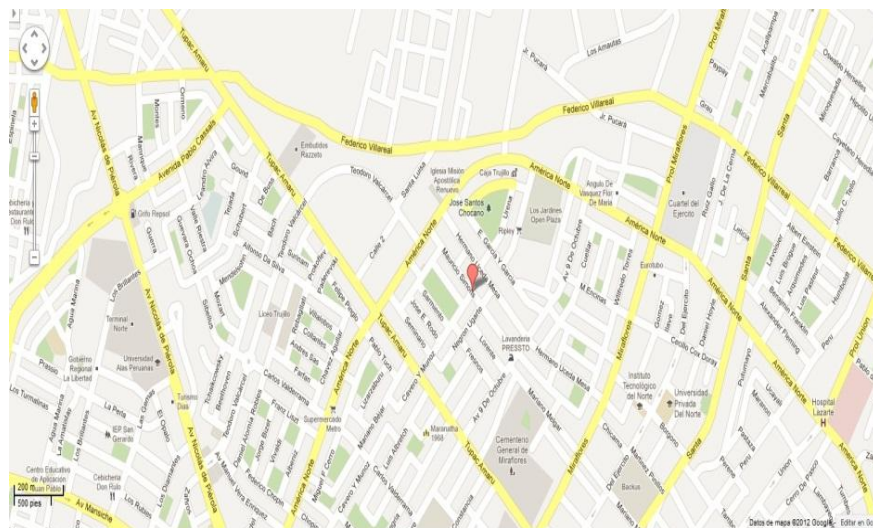


Figura 1: Ubicación de la empresa Fabián Express S.A.C

3.1.3. Direccionamiento estratégico

Visión

Consolidarnos como la mejor empresa de Transporte de carga pesada a nivel nacional, poseer una administración eficaz, capacitación permanente a sus empleados, seguridad y cumplimiento en todas sus operaciones de carga; manteniendo el prestigio basándose en su desempeño altamente competitivo.

Misión

Brindar un servicio de transporte de carga pesada con calidad y eficiencia, que satisfaga los requerimientos de nuestros clientes, ofreciéndoles seguridad y confianza en el manejo de sus cargas mediante recursos humanos altamente capacitados.

3.1.4. Competidores

Entre los principales competidores tenemos a las siguientes compañías como son: Transportes Rodrigo Carranza SAC, Arequipa Expreso Marvisur E.I.R.L; Empresa De Transportes Díaz SRL, Transportes 77 S.A., Paredes Estrella-Cargo S.A., Transportes Palomino Estrada E.I.R.L, Entre otras, y los vehículos particulares.

3.1.5. Clientes

Los principales clientes son las empresas agroindustriales y mineras que se encuentran en la región norte del país, estas son: Danper Trujillo S.A.C., Camposol S.A., Sociedad Agrícola Virú

3.1.6. Principales Servicios

La organización se ha ramificado creando dos servicios; uno de transporte de carga pesada y otro de transportes de combustible. Entre los servicios que se ofrece tenemos:

Tabla 3: Servicios brindados por la empresa.

| N° | Servicio | Producto |
|----|---|----------------------------|
| 1 | Servicios de transporte de carga pesada a nivel nacional. | Transporte de carga solida |
| 2 | Servicio de transporte de combustibles (Bunker). | Transporte de combustible |

Fuente: Empresa Fabián Express S.A.C

3.1.7. Estructura organizacional

La Gerencia está a cargo del dueño de la empresa quién se encarga de supervisar las funciones del personal así como la captación de nuevos clientes. Cuenta con un asistente de aprovisionamiento de operaciones para realizar las compras y a la vez encargado de almacén.

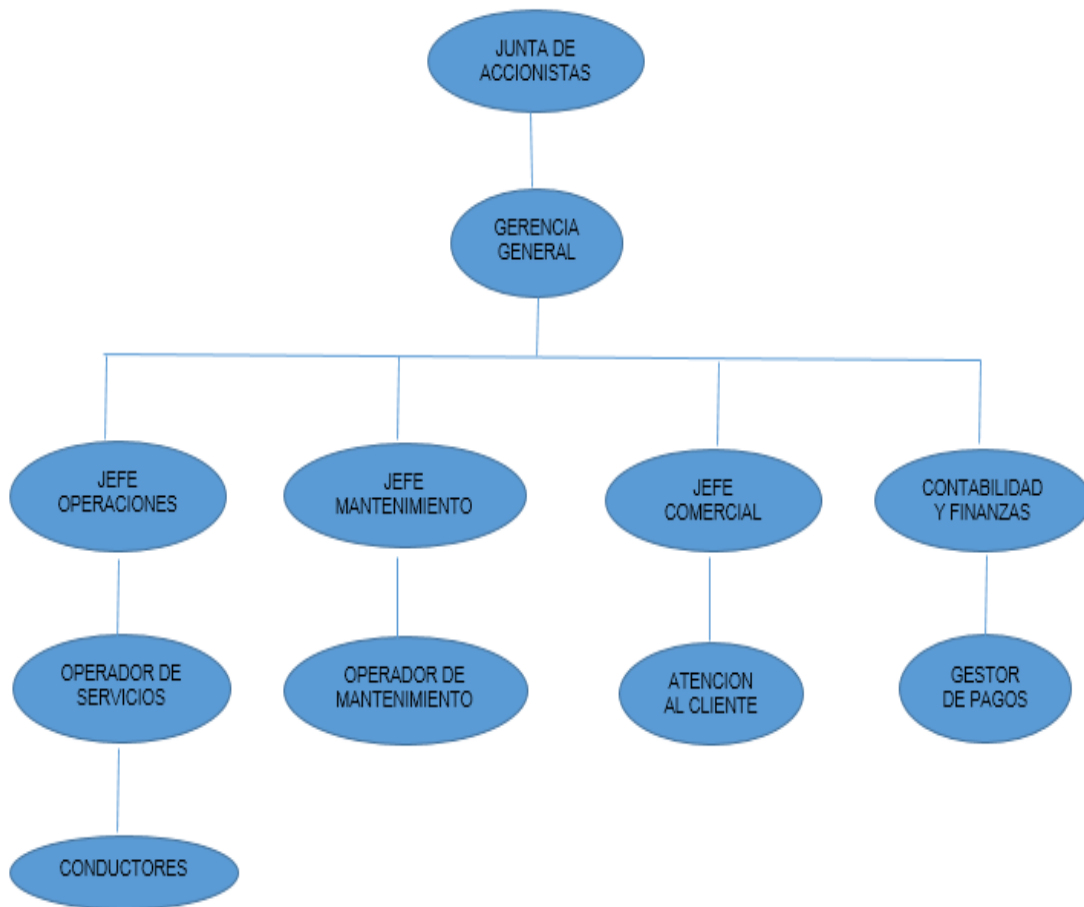


Figura 2: Estructura organizacional de Fabián Express S.A.C

Fuente: Fabián Express

3.1.8. Maquinaria y equipo

Las unidades con la que cuenta la empresa actualmente son: 10 tracto remolques con plataforma y 2 remolques con cisterna, tal como se detalla en la siguiente Tabla.

Tabla 4: Tipo de vehículos

| N° UNIDAD | TIPO DE VEHICULOS | MARCA | MODELO | CAPACIDAD | AÑO |
|-----------|--------------------------------|--------|--------|-----------|------|
| 1 | TRACTO REMOLQUE CON PLATAFORMA | VOLVO | N-12 | 30 TON | 1983 |
| 2 | TRACTO REMOLQUE CON PLATAFORMA | VOLVO | N12 | 30 TON | 1984 |
| 3 | TRACTO REMOLQUE CON PLATAFORMA | VOLVO | N12 | 30 TON | 1983 |
| 4 | TRACTO REMOLQUE CON PLATAFORMA | VOLVO | N12 | 30 TON | 1983 |
| 5 | TRACTO REMOLQUE CON PLATAFORMA | VOLVO | FH | 30 TON | 2006 |
| 6 | TRACTO REMOLQUE CON PLATAFORMA | VOLVO | FH | 30 TON | 2006 |
| 7 | TRACTO REMOLQUE CON PLATAFORMA | VOLVO | FH | 30 TON | 2007 |
| 8 | TRACTO REMOLQUE CON PLATAFORMA | VOLVO | FH | 30 TON | 2008 |
| 9 | TRACTO REMOLQUE CON PLATAFORMA | SCANIA | R500 | 30 TON | 2013 |
| 10 | TRACTO REMOLQUE CON PLATAFORMA | SCANIA | R500 | 30 TON | 2013 |
| 11 | TRACTO REMOLQUE CON CISTERNA | VOLVO | N12 | 3800 GAL | 1983 |
| 12 | TRACTO REMOLQUE CON CISTERNA | VOLVO | N88 | 3900 GAL | 1978 |

Fuente: Fabián Express S.A.C.

3.2. Descripción particular del área de la empresa objeto de análisis

La gestión de compras es el conjunto de operaciones y actividades dirigidas a conseguir y suministrar desde un mercado exterior los diferentes repuestos con la calidad adecuada en las cantidades convenientes según los requerimientos de servicios de mantenimiento correctivo, en los plazos fijos y en mejores condiciones de precio. El departamento de operaciones es responsable de un porcentaje sustancial del costo para la empresa. Por lo tanto, el aprovisionamiento proporciona la oportunidad para que la empresa pueda desarrollar ventajas competitivas.

Los costos de las adquisiciones, están relacionados con las siguientes actividades y operaciones:

Gastos Administrativos:

Remuneraciones del personal (Sueldos de los nombrados y contratados en planillas).

Trámite documentario.

Gastos Generales de Oficina:

Gastos en servicios públicos (Luz, Agua, Teléfono, Internet).

Gastos en útiles de oficina y material de limpieza.

3.2.1. Operaciones actuales de compra

Dentro de esto se procede a presentar el cuadro de los procedimientos de compra que la empresa tiene, estos datos se obtuvieron por medio de una entrevista realizada al personal del área de mantenimiento y operaciones.

Tabla 5: Operaciones durante el proceso de compra y el tiempo usado en este por área indicada.

| Actividad | Tiempo por proceso (minutos) | Tiempo Área de Mant.(min.) | Tiempo Área de Ope. (min.) |
|--|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Formulación y primera liberación de la solicitud de pedido al identificar una necesidad de materiales. | 20 | X | |
| Elaboración de peticiones de oferta. | 15 | | X |
| Elaboración de Cuadro Comparativo de Cotizaciones. | 20 | | X |
| Selección del Proveedor, VoBo y firma de la documentación. | 10 | | X |
| Elaboración de pedidos | 10 | | X |
| Envío de pedido al proveedor | 5 | | X |
| Envío de documentación a contabilidad sustentada con factura del proveedor y documento original del requerimiento. | 20 | | X |
| Tiempo(Minutos) | 100 | 20 | 80 |

Fuente: Entrevista a personal operaciones y mantenimiento Fabián Express S.A.C.

3.2.2. Operaciones actuales de almacén:

Según la información brindada por el área de mantenimiento, en la empresa, se identificaron los siguientes procedimientos, además también se estimó el tiempo que se usa para estos procedimientos, esta información se obtuvo del personal de mantenimiento a través de una entrevista realizada.

Tabla 6: Detalle de las operaciones frecuentes para el proceso de almacén.

| PROCEDIMIENTO | RESPONSABLE | TIEMPO POR OPERACIÓN EN MINUTOS. |
|---------------------------------|--------------------|----------------------------------|
| Operación - Recepción. | | |
| Recepción de material. | Operador de Mante. | 5 |
| Verificación de Material | Operador de Mante. | 10 |
| Ingreso y Registro de Material | Operador de Mante. | 5 |
| Operación – Despacho | | |
| Despacho de Material | Operador de Mante. | 10 |
| Registro de la Salida en Kardex | Operador de Mante. | 5 |
| TOTAL | | 35 |

Fuente: Entrevista a personal de mantenimiento Fabián Express S.A.C.

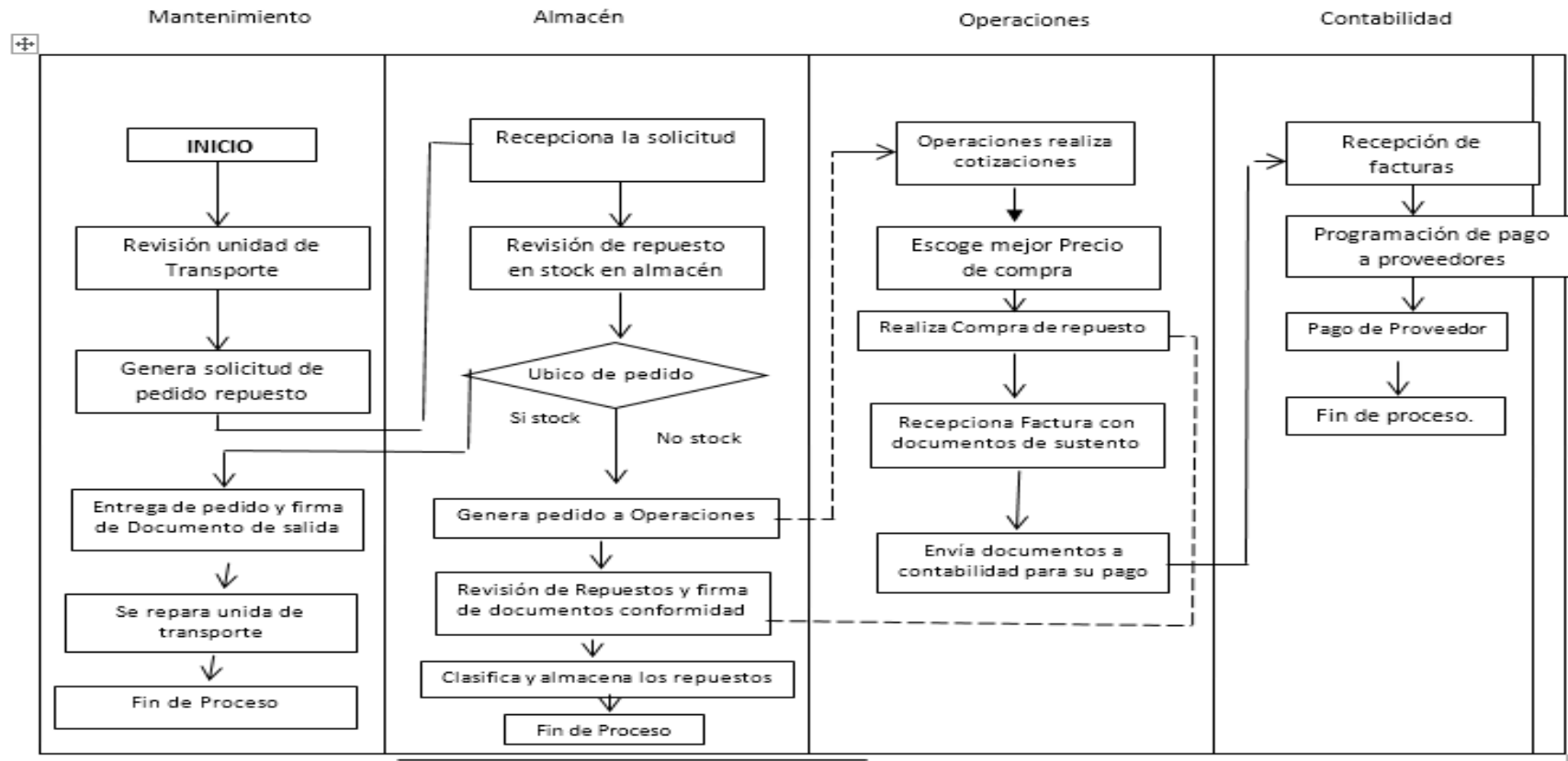


Figura 3: Flujo de compras y almacén

Fuente: La empresa

3.3. Identificación del problema y causas

3.3.1. Priorización de Causas Raíz

Luego de haber identificado las causas raíces que influyen en el área de estudio, se realizó una encuesta (ver anexo 05) a los diferentes trabajadores de la empresa a fin de poder darle una priorización de acuerdo al nivel de influencia de la problemática de estudio, esto se logró gracias a la herramienta del diagrama de Pareto, en donde del total de 15 causas raíces, se llegó a priorizar a 6 causas según su puntuación del resultado de las encuestas aplicadas.

Tabla 7: Causas Raíz del área de estudio de acuerdo a su nivel de influencia.

| N° CR | CAUSA RAIZ | Suma | % Impacto | Acumulado |
|-------|---|------|-----------|-----------|
| Cr4 | Elevadas paradas por fallas eléctricas | 20 | 0.10 | 0.10 |
| Cr12 | Falta de stock de repuestos, demanda aleatoria | 20 | 0.10 | 0.20 |
| Cr5 | Elevadas paradas por fallas mecánicas | 20 | 0.10 | 0.31 |
| Cr10 | Falta de control de repuestos por ausencia de repuestos | 19 | 0.10 | 0.40 |
| Cr11 | No se cuenta con una adecuada gestión de inventarios | 19 | 0.10 | 0.50 |
| Cr8 | Falta de indicadores de control de inventarios | 19 | 0.10 | 0.60 |
| Cr2 | Falta de capacitación del personal en gestión logística | 18 | 0.09 | 0.69 |
| Cr3 | Falta de capacitación del personal de mantenimiento | 17 | 0.09 | 0.78 |
| Cr13 | Falta de capacidad para temporadas altas | 8 | 0.04 | 0.82 |
| Cr3 | Falta de capacitación a los trabajadores | 8 | 0.04 | 0.86 |
| Cr15 | Falta de compromiso de los Proveedores | 7 | 0.04 | 0.89 |
| Cr14 | Falta de vehículos nuevos | 7 | 0.04 | 0.93 |
| Cr1 | Falta de compromiso del trabajador | 5 | 0.03 | 0.95 |
| Cr6 | Fallas por falta de refrigerante | 5 | 0.03 | 0.98 |
| Cr9 | Se deja documentación para ingresar al cierre del periodo | 4 | 0.02 | 1.00 |
| | | 196 | 1 | |

Fuente: Elaboración propia

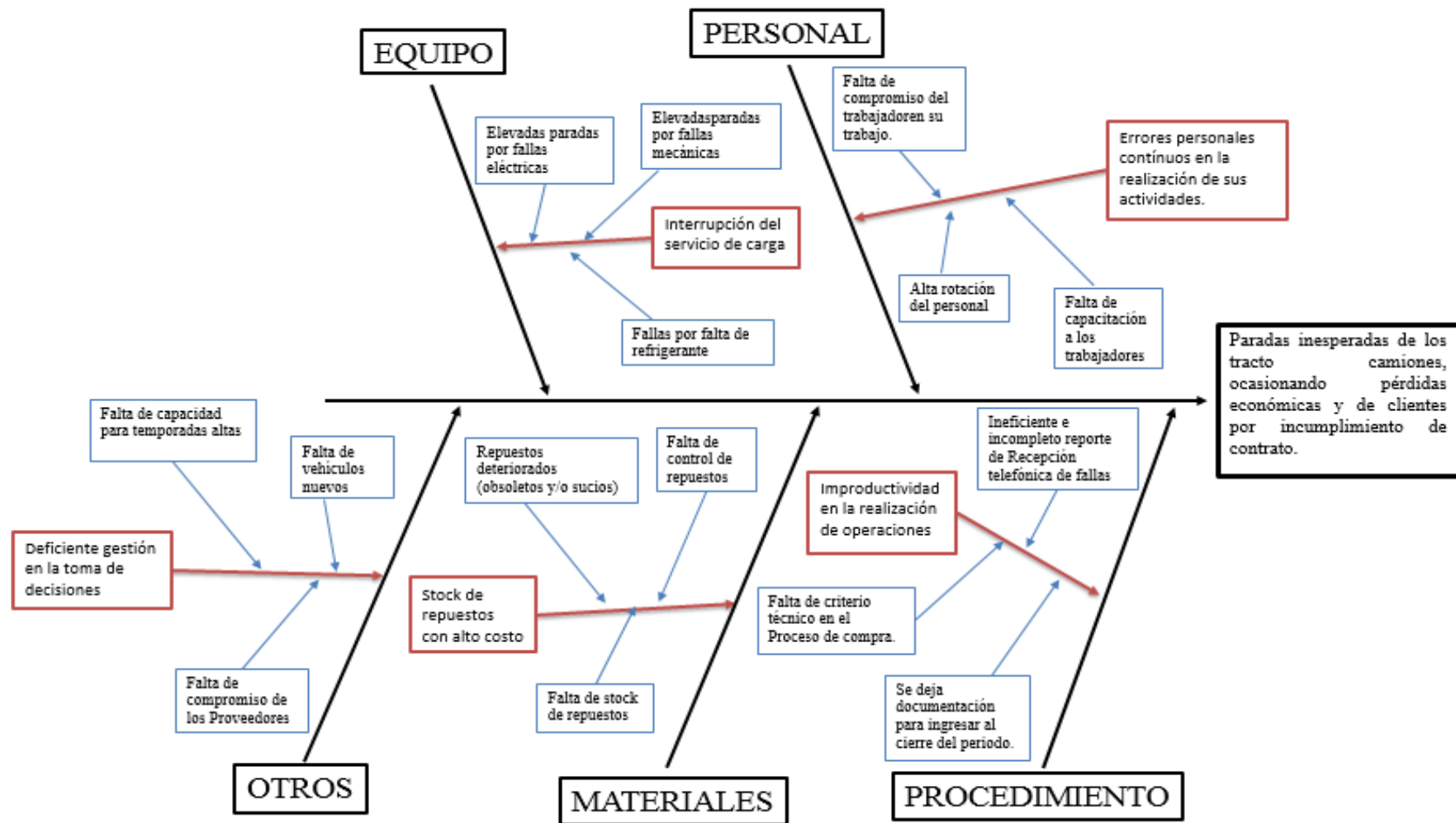


Figura 4: Ishikawa del área de Logística y mantenimiento de la empresa de Fabián Express S.A.C.
Fuente: Elaboración Propia

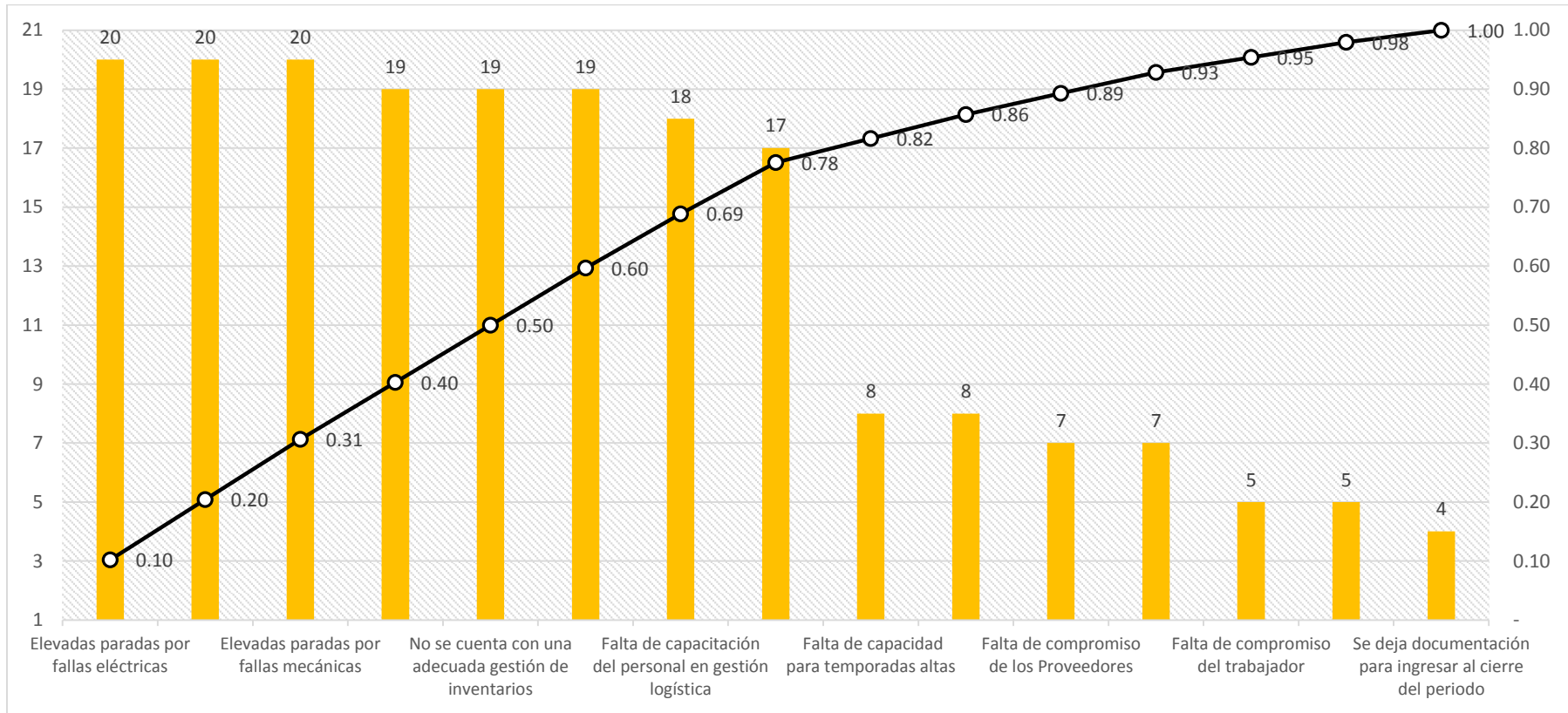


Figura 5: Diagrama de Pareto de las causas raíces
Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Identificación de los indicadores

En este apartado se evalúan las 6 causas raíces que fueron resultados de una priorización de los problemas encontrados en las áreas de logística y mantenimiento.

Estas causas raíces serán medidas mediante indicadores, y así decidir la herramienta de mejora a aplicar por cada causa raíz o grupo de ellas, así mismo la inversión que representará la aplicación de las herramientas de mejora para la empresa de transporte Fabián Express S.A.C.

Tabla 8: Indicadores de las causas raíces de los problemas

| CR | Descripción | Indicador % | Formula | VA % |
|------|--|--|---|------|
| Cr4 | Elevadas paradas por fallas eléctricas | % de paradas por fallas eléctricas | $\frac{\text{N}^\circ \text{ de paradas por fallas eléctricas}}{\text{total de paradas}} * 100\%$ | 10% |
| Cr12 | Falta de stock de repuestos por demanda aleatoria | % de repuestos no atendidos x falta de stock | $\frac{\text{N}^\circ \text{ de requerimientos de repuestos no atendidos}}{\text{total de requerimiento de repuestos}} * 100\%$ | 20% |
| Cr5 | Elevadas paradas por fallas mecánicas | % de paradas por fallas mecánicas | $\frac{\text{N}^\circ \text{ de paradas por fallas mecánicas}}{\text{total de paradas}} * 100\%$ | 10% |
| Cr10 | Falta de control de repuestos por ausencia de formatos | % de formatos de control de repuestos | $\frac{\text{N}^\circ \text{ de formatos de control de repuestos}}{\text{total de formatos}} * 100\%$ | 0% |
| Cr11 | No se cuenta con una adecuada gestión de inventarios | % de inventarios controlados | $\frac{\text{N}^\circ \text{ de registros de inventarios controlados}}{\text{total de registros de inventarios}} * 100\%$ | 10% |
| Cr8 | Falta de indicadores de control de inventarios | % de indicadores de control de inventario | $\frac{\text{N}^\circ \text{ de indicadores de control de inventarios}}{\text{total de indicadores logísticos}} * 100\%$ | 10% |

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4

PROPUESTA

DE MEJORA

4.1. Desarrollo de la matriz de indicadores de variables

En este campo se desarrolló la matriz de indicadores de variables, donde las 6 causas priorizadas fueron consideradas y formuladas con indicadores para cada una de ellas en relación a la variable independiente, de la misma manera esta tabla muestra la pérdida anual antes de desarrollar las herramientas de mejora y la perdidas con las propuestas de mejora, como también los valores actuales y futuros, el beneficio que se obtiene con las herramientas de Cadenas de Markov, Kardex.

Tabla 9: Matriz resumen de indicadores de variables

| CR | Descripción | Indicador % | Formula | VA % | Pérdida Actual (S./AÑO) | Pérdidas actuales integradas (S./AÑO) | VM % | Pérdida mejorada (S./AÑO) | Pérdidas mejoradas integradas (S./AÑO) | Beneficio (S./) | Beneficio (S./) | Herramienta de Mejora | Inversión (S./) |
|--------------|--|--|--|------|-------------------------|---------------------------------------|------|---------------------------|--|-----------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| Cr4 | Elevar las paradas por fallas eléctricas | % de paradas por fallas internas de máquina | $\frac{\text{N}^\circ \text{ de paradas por fallas internas}}{\text{total de paradas}} * 100\%$ | 52% | 32,712.00 | S/. 81,780.00 | 12% | S/. 27,288.00 | S/. 68,220.00 | S/. 5,424.00 | S/. 13,560.00 | CADENAS MARKOV | 6,750.00 |
| Cr12 | Falta de stock de repuestos por demanda aleatoria | % de repuestos no atendidos x falta de stock | $\frac{\text{N}^\circ \text{ de requerimientos de repuestos no atendidos}}{\text{total de requerimiento de repuestos}}$ | 38% | 28,623.00 | | 8% | S/. 23,877.00 | | S/. 4,746.00 | | | |
| Cr5 | Elevar las paradas por fallas mecánicas | % de paradas por fallas mecánicas | $\frac{\text{N}^\circ \text{ de paradas por fallas mecánicas}}{\text{total de paradas}} * 100\%$ | 62% | 20,445.00 | | 10% | S/. 17,055.00 | | S/. 3,390.00 | | | |
| Cr10 | Falta de control de repuestos por ausencia de formatos | % de formatos de control de repuestos | $\frac{\text{N}^\circ \text{ de formatos de control de repuestos}}{\text{total de formatos}} * 100\%$ | 0% | 7,118.00 | S/. 40,689.22 | 100% | 0 | S/. 3,906.00 | S/. 7,118.00 | S/. 36,783.22 | KARDEX | 7,516.00 |
| Cr11 | No se cuenta con una adecuada gestión de inventarios | % de inventarios controlados | $\frac{\text{N}^\circ \text{ de registro de inventarios controlados}}{\text{total de registro de inventarios}} * 100\%$ | 10% | 32,234.00 | | 85% | S/. 3,906.00 | | S/. 28,328.00 | | | |
| Cr8 | Falta de indicadores de control de inventarios | % de indicadores de control de inventario | $\frac{\text{N}^\circ \text{ de indicadores de control de inventarios}}{\text{total de indicadores logísticos}} * 100\%$ | 10% | 1,337.22 | | 90% | 0 | | S/. 1,337.22 | | | |
| Total | | | | | | | | | S/. 72,126.00 | | S/. 50,343.22 | | S/. 14,266.00 |

Fuente: Elaboración propia

4.2. Propuestas

4.2.1. Cadena de Markov

Se conoce que el problema fundamental de esta empresa Fabián Express S.A.C., son las paradas inesperadas de los tracto camiones, ocasionando pérdidas económicas y de clientes por incumplimiento de contrato. Se busca determinar el pronóstico de demanda aleatoria de repuestos para solucionar las paradas inesperadas, aplicando un modelo de Cadena de Markov.

Varios autores hacen gran referencia a la aplicación de modelos de pronósticos que hacen uso de cadenas de Markov y entre los usos más comunes tenemos:

Newsboy's Problem es un clásico problema muy bien conocido en la ciencia de la administración, el cual se describe a continuación. Un joven vende periódicos cada mañana; hay costos asociados a cada periódico que se deja de vender en el día (costo excedente) y a cada demanda insatisfecha (costo de escasez). El objetivo es encontrar el tamaño óptimo de pedido bajo una distribución estacionaria de probabilidad de la demanda. Este simple modelo puede ser generalizado para aplicaciones prácticas en planeación de producción. Por ejemplo, en la predicción de demandas de productos, las cuales son clasificadas en varios estados, tales como, muy alto volumen de ventas, alto volumen de ventas, volumen estándar de ventas, bajo volumen de ventas y muy bajo volumen de ventas. El proceso de encontrar el óptimo volumen de producción es una generalización del clásico Newsboy's Problem. La secuencia del volumen de demanda en el tiempo forma una secuencia categórica o serie de tiempo. El modelo de cadenas de Markov de orden superior provee un método natural para capturar la dinámica de la demanda, por lo tanto, el modelo de cadenas de Markov de orden superior puede

ser muy útil en la obtención de políticas óptimas de producción para minimizar el promedio del costo de producción a largo plazo.

Las causas que tienen como propuesta la aplicación de las cadenas de Markov son las siguientes:

Causa Raíz 04: Elevadas paradas por fallas eléctricas

Esta causa hace referencia que los tractos camiones se paran por fallas imprevistas como: a) fallas eléctricas (luces, cables) debido a corto circuitos, o por algún mal contacto, o amperaje inestable, b) Quemado de fusible, debido a un mal amperaje.

Causa Raíz 12: Falta de stock de repuestos por demanda aleatoria

Los requerimientos de repuestos se realizan en base a la experiencia del personal de logística de la empresa que canaliza los pedidos a través de la compradora, la cantidad de cuanto comprar lo calculan de manera equivocada, lo que genera las demoras de atención al área de mantenimiento, ocasionando la falta de atención de servicios de transporte, y pérdidas de ingresos.

Causa Raíz 05: Elevadas paradas por fallas mecánicas

Esta causa hace referencia que los tracto camiones se paran por fallas imprevistas: a) Roturas de fajas, debido al desgaste o demasiado uso, no hubo revisión antes de salir a servicio.

b) Falla de bomba de agua, sobrecalentamiento, debido a un mal proceso de enfriamiento del radiador por obstrucción o faja rotas.

c) Filtros de combustible, debido a ahogamiento de motor, suciedad en el combustible.

d) Problemas Hidráulicos, debido a fallas de frenos, cañerías diversas.

e) Rotura de pernos, o chasis, debido a sobre peso o mal estado de las carreteras.

4.2.2.1. Explicación de costos perdidos por las causas 04, 05 y 12

Los costos están asociados a los servicios de transporte que no se atienden, tales como los Servicios A transporte local y los Servicios B transporte interprovincial tanto en las temporadas altas como bajas. El 60% del total de los servicios, es Servicio A y el 40% es Servicio B. La tabla 12 muestra la pérdida por ingresos por los servicios no atendidos que es S/. 81,780.00

Tabla 10: Descripción del servicio de transporte

| ITEM | DESCRIPCION DEL SERVICIO | VALOR VENTA APROX.(S/.) | VALOR VENTA PROMEDIO APROX.(S/.) |
|------|--|-------------------------|----------------------------------|
| A | SERVICIO REALIZADO EN TRUJILLO Y ALREDEDORES, HUANCHACO, VIRU, CHAO, BUENOS AIRES | 400-700 | 550 |
| B | SERVICIO DE PROVINCIA EN PORV. O DEPARTAMENTO POR LO GENERAL SE ABARCA CHIMBOTE, CHICLAYO, OLMOS , PIURA | 1500- 2500 | 2000 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11: Características de las unidades de transporte

| ITEM | ASIGNACION DE SERVICIO | UNIDADES DE TRANSPORTE (CANTIDAD) | CAPACIDAD CARGA (TON) |
|------|----------------------------|------------------------------------|-----------------------|
| A | TRANSPORTE LOCAL | 6 | 30 |
| B | TRANSPORTE INTERPROVINCIAL | 4 | 30 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12: Perdidas de ingresos por los servicios no atendidos

| ITEM | MES | SERV. QUE NO SE ATIENDEN | INDICADOR | PROMEDIO DE INGRESOS PERDIDOS TOTALES (S/) |
|-------|------------|--------------------------|------------|--|
| 1 | ENERO | 12 | TEMP. ALTA | 13,560.00 |
| 2 | FEBRERO | 9 | TEMP. ALTA | 10,170.00 |
| 3 | MARZO | 7 | TEM. BAJA | 7,910.00 |
| 4 | ABRIL | 4 | TEM. BAJA | 4,520.00 |
| 5 | MAYO | 5 | TEM. BAJA | 5,650.00 |
| 6 | JUNIO | 3 | TEM. MED | 3,390.00 |
| 7 | JULIO | 9 | TEM. ALTA | 10,170.00 |
| 8 | AGOSTO | 4 | TEM. MED | 4,520.00 |
| 9 | SEPTIEMBRE | 6 | TEM. BAJA | 7,200.00 |
| 10 | OCTUBRE | 5 | TEM. MED | 5,650.00 |
| 11 | NOVIEMBRE | 8 | TEMP. ALTA | 9,040.00 |
| 12 | DICIEMBRE | 6 | TEMP. ALTA | 6,780.00 |
| Total | | 78 | | 81,780.00 |

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.2. Desarrollo de la propuesta: Cadena de Markov

Son muchos los métodos utilizados para hacer análisis y pronósticos de demanda aleatoria, sin embargo en muchos casos no se logra obtener un pronóstico satisfactorio, por lo cual es de suma importancia investigar otro modelo basado en Cadenas de Markov para verificar su eficacia y dado que sea efectivo poder establecer una nueva alternativa para analizar y pronosticar la demanda aleatoria de repuestos y así disminuir las paradas de los tracto camiones por falta de stock de repuestos. Se desarrollara el modelo en el software Excel y los pasos son los siguientes :

A: Situación actual

Se estudiarán 13 repuestos, que son el 80% de repuestos que dan solución a las 7 fallas más frecuentes, descritas en las causas raíz 4 y 5 y desarrolladas en el anexo 3. Como ejemplo tomaremos la situación actual tomando como base de datos el

año 2016, para el Repuesto 1 (No explicita el nombre del repuesto por restricciones de la empresa).

Como vemos en la tabla 13, en la semana 1, se compró 60 repuestos, entonces se tenía disponible 60, la demanda fue de 75, la venta (salida de almacén) fue de 60 lo que teníamos disponible, se generó una escasez de 15, y en inventario hubo cero.

En la semana 2, se compró 75 repuestos, entonces se tenía disponible 75, la demanda fue de 45, la venta (salida de almacén) fue de 45, se generó una escasez de cero, y paso a inventario 30 unidades.

En la semana 3, se compró 60 repuestos, entonces se tenía disponible 90, pues 60 más 30 que se tenía en inventario en la semana 2 nos da 90, la demanda fue de 85, la venta (salida de almacén) fue de 85, se genero una escasez de cero, y paso a inventario 5 unidades, y asi sucesivamente hasta la semana 52.

En la figura 6 vemos el comportamiento de la demanda aleatoria del repuesto 1.

Tabla 13: Comportamiento de la demanda del respuesto 1, año 2016

| SEMANA | COMPRA | DISPONIBLE | DEMANDA | VENTA | ESCASEZ | INVENTARIO |
|--------|--------|------------|---------|-------|---------|------------|
| 1 | 60 | 60 | 75 | 60 | 15 | 0 |
| 2 | 75 | 75 | 45 | 45 | 0 | 30 |
| 3 | 60 | 90 | 85 | 85 | 0 | 5 |
| 4 | 65 | 70 | 60 | 60 | 0 | 10 |
| 5 | 73 | 83 | 65 | 65 | 0 | 18 |
| 6 | 63 | 81 | 40 | 40 | 0 | 41 |
| 7 | 53 | 94 | 80 | 80 | 0 | 14 |
| 8 | 60 | 74 | 85 | 74 | 11 | 0 |
| 9 | 83 | 83 | 60 | 60 | 0 | 23 |
| 10 | 73 | 96 | 60 | 60 | 0 | 36 |
| 11 | 60 | 96 | 45 | 45 | 0 | 51 |
| 12 | 53 | 104 | 85 | 85 | 0 | 19 |

| | | | | | | |
|-------|-------------|-----|----|----|-----------|-------------|
| 13 | 65 | 84 | 40 | 40 | 0 | 44 |
| 14 | 63 | 107 | 40 | 40 | 0 | 67 |
| 15 | 40 | 107 | 85 | 85 | 0 | 22 |
| 16 | 63 | 85 | 70 | 70 | 0 | 15 |
| 17 | 78 | 93 | 50 | 50 | 0 | 43 |
| 18 | 60 | 103 | 45 | 45 | 0 | 58 |
| 19 | 48 | 106 | 55 | 55 | 0 | 51 |
| 20 | 50 | 101 | 30 | 30 | 0 | 71 |
| 21 | 43 | 114 | 50 | 50 | 0 | 64 |
| 22 | 40 | 104 | 30 | 30 | 0 | 74 |
| 23 | 40 | 114 | 30 | 30 | 0 | 84 |
| 24 | 30 | 114 | 60 | 60 | 0 | 54 |
| 25 | 45 | 99 | 80 | 80 | 0 | 19 |
| 26 | 70 | 89 | 30 | 30 | 0 | 59 |
| 27 | 55 | 114 | 65 | 65 | 0 | 49 |
| 28 | 48 | 97 | 80 | 80 | 0 | 17 |
| 29 | 73 | 90 | 45 | 45 | 0 | 45 |
| 30 | 63 | 108 | 85 | 85 | 0 | 23 |
| 31 | 65 | 88 | 85 | 85 | 0 | 3 |
| 32 | 85 | 88 | 55 | 55 | 0 | 33 |
| 33 | 70 | 103 | 70 | 70 | 0 | 33 |
| 34 | 63 | 96 | 50 | 50 | 0 | 46 |
| 35 | 60 | 106 | 80 | 80 | 0 | 26 |
| 36 | 65 | 91 | 40 | 40 | 0 | 51 |
| 37 | 60 | 111 | 35 | 35 | 0 | 76 |
| 38 | 38 | 114 | 35 | 35 | 0 | 79 |
| 39 | 35 | 114 | 40 | 40 | 0 | 74 |
| 40 | 38 | 112 | 75 | 75 | 0 | 37 |
| 41 | 58 | 95 | 80 | 80 | 0 | 15 |
| 42 | 78 | 93 | 40 | 40 | 0 | 53 |
| 43 | 60 | 113 | 30 | 30 | 0 | 83 |
| 44 | 35 | 118 | 55 | 55 | 0 | 63 |
| 45 | 43 | 106 | 90 | 90 | 0 | 16 |
| 46 | 73 | 89 | 80 | 80 | 0 | 9 |
| 47 | 85 | 94 | 65 | 65 | 0 | 29 |
| 48 | 73 | 102 | 50 | 50 | 0 | 52 |
| 49 | 58 | 110 | 75 | 75 | 0 | 35 |
| 50 | 63 | 98 | 50 | 50 | 0 | 48 |
| 51 | 63 | 111 | 55 | 55 | 0 | 56 |
| 52 | 53 | 109 | 70 | 70 | 0 | 39 |
| Total | 3073 | | | | 26 | 2062 |

Fuente: Elaboración propia

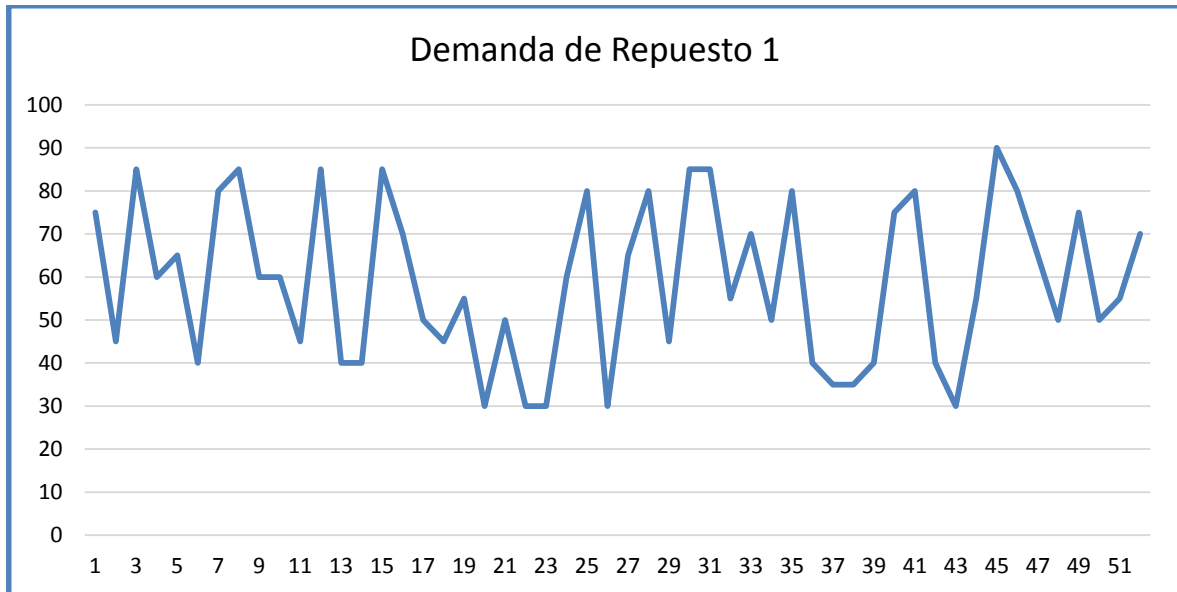


Figura 6: Gráfico de demanda aleatoria del Repuesto 1

Fuente: Elaboración propia

B: Elaboración de Matriz

Una vez identificado cual es el valor mínimo (30) y el valor máximo (90) de la serie de demandas durante el año 2016 y establecido el número de estados con el cual se desea trabajar que es trece los cuales son los siguientes:

Estado 1: Demanda 30 de repuestos

Estado 2: Demanda 35 de repuestos

Estado 3: Demanda 40 de repuestos

Estado 4: Demanda 45 de repuestos

Estado 5: Demanda 50 de repuestos

Estado 6: Demanda 55 de repuestos

Estado 7: Demanda 60 de repuestos

Estado 8: Demanda 65 de repuestos

Estado 9: Demanda 70 de repuestos

Estado 10: Demanda 75 de repuestos

Estado 11: Demanda 80 de repuestos

Estado 12: Demanda 85 de repuestos

Estado 13: Demanda 90 de repuestos

Se procede a armar la matriz con los trece estados, y contabilizando por ejemplo en la Tabla 14 se observa, cuantas veces en las 52 semanas, se ha pasado del estado 4 (demanda 45) al estado 12 (demanda 85) es 3 veces, del estado 6 (demanda 55) al estado 9 (demanda 70) es 2 veces, y así se va completando la matriz.

Tabla 14: Elaboración de la matriz con los 13 estados

| | Estados | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|---------|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Estados | | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 |
| 1 | 30 | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | |
| 2 | 35 | | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 3 | 40 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | 1 | 1 | 1 | |
| 4 | 45 | | | | | | 1 | | | | | | 3 | |
| 5 | 50 | 1 | | | 1 | | 1 | | | | 1 | 1 | | |
| 6 | 55 | 1 | | | | | | | | 2 | | | | 1 |
| 7 | 60 | | | | 1 | | | 1 | 1 | | | 1 | | |
| 8 | 65 | | | 1 | | 1 | | | | | | 1 | | |
| 9 | 70 | | | | | 2 | | | | | | | | |
| 10 | 75 | | | | 1 | 1 | | | | | | 1 | | |
| 11 | 80 | 1 | | 2 | 1 | | | | 1 | | | | 1 | |
| 12 | 85 | | | 1 | | | 1 | 2 | | 1 | | | 1 | |
| 13 | 90 | | | | | | | | | | | 1 | | |

| |
|----|
| 5 |
| 2 |
| 6 |
| 4 |
| 5 |
| 4 |
| 4 |
| 3 |
| 2 |
| 3 |
| 6 |
| 6 |
| 1 |
| 51 |

Fuente: Elaboración propia

C: Matriz Ergódica

Se procede a calcular la probabilidad de pasar de un estado a otro por ejemplo, del estado 3 (demanda 40) al estado 1 (demanda 30) sería $=1/6 = 0.1667$, esto en función a los datos de la tabla anterior donde pasar del estado 3 (demanda 40) al estado 1 (demanda 30) es una vez y en total del estado 3 a diversos estado sumas seis. De esta forma se construyen el resto de casilleros de esta matriz.

Tabla 15: Elaboración de la Matriz Ergodica

| | Estados | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Estados | | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 |
| 1 | 30 | 0.2000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.2000 | 0.2000 | 0.2000 | 0.2000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 2 | 35 | 0.0000 | 0.5000 | 0.5000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 3 | 40 | 0.1667 | 0.1667 | 0.1667 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.1667 | 0.1667 | 0.1667 | 0.0000 |
| 4 | 45 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.2500 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.7500 | 0.0000 |
| 5 | 50 | 0.2000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.2000 | 0.0000 | 0.2000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.2000 | 0.2000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 6 | 55 | 0.2500 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.5000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.2500 |
| 7 | 60 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.2500 | 0.0000 | 0.0000 | 0.2500 | 0.2500 | 0.0000 | 0.0000 | 0.2500 | 0.0000 | 0.0000 |
| 8 | 65 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3333 | 0.0000 | 0.3333 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3333 | 0.0000 | 0.0000 |
| 9 | 70 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 1.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 10 | 75 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3333 | 0.3333 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3333 | 0.0000 | 0.0000 |
| 11 | 80 | 0.1667 | 0.0000 | 0.3333 | 0.1667 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.1667 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.1667 | 0.0000 |
| 12 | 85 | 0.0000 | 0.0000 | 0.1667 | 0.0000 | 0.0000 | 0.1667 | 0.3333 | 0.0000 | 0.1667 | 0.0000 | 0.0000 | 0.1667 | 0.0000 |
| 13 | 90 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 1.0000 | 0.0000 | 0.0000 |

Fuente: Elaboración propia

La notación definida en esta ocasión corresponde a **m** para indicar los estados y **n** para indicar el orden de Markov.

A continuación se muestran los resultados de las pruebas (multiplicación de matrices en Excel) realizadas con 13 estados para primer, segundo, tercer y cuarto orden:

Tabla16: Matriz con m=13 y n=1 para el repuesto 1

| | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 30 | 0.130 | 0.000 | 0.067 | 0.090 | 0.107 | 0.080 | 0.090 | 0.090 | 0.100 | 0.040 | 0.157 | 0.000 | 0.050 |
| 35 | 0.083 | 0.333 | 0.333 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.083 | 0.083 | 0.083 | 0.000 |
| 40 | 0.089 | 0.111 | 0.194 | 0.083 | 0.089 | 0.061 | 0.089 | 0.061 | 0.028 | 0.028 | 0.083 | 0.083 | 0.000 |
| 45 | 0.063 | 0.000 | 0.125 | 0.000 | 0.000 | 0.125 | 0.250 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 | 0.125 | 0.063 |
| 50 | 0.123 | 0.000 | 0.067 | 0.100 | 0.107 | 0.090 | 0.040 | 0.073 | 0.100 | 0.000 | 0.067 | 0.183 | 0.050 |
| 55 | 0.050 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.550 | 0.050 | 0.050 | 0.050 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 |
| 60 | 0.042 | 0.000 | 0.167 | 0.104 | 0.083 | 0.063 | 0.063 | 0.104 | 0.000 | 0.000 | 0.146 | 0.229 | 0.000 |
| 65 | 0.178 | 0.056 | 0.167 | 0.122 | 0.000 | 0.067 | 0.000 | 0.056 | 0.000 | 0.122 | 0.122 | 0.111 | 0.000 |
| 70 | 0.200 | 0.000 | 0.000 | 0.200 | 0.000 | 0.200 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.200 | 0.200 | 0.000 | 0.000 |
| 75 | 0.122 | 0.000 | 0.111 | 0.122 | 0.000 | 0.150 | 0.000 | 0.056 | 0.000 | 0.067 | 0.067 | 0.306 | 0.000 |
| 80 | 0.089 | 0.056 | 0.139 | 0.000 | 0.089 | 0.103 | 0.089 | 0.033 | 0.028 | 0.056 | 0.111 | 0.208 | 0.000 |
| 85 | 0.069 | 0.028 | 0.056 | 0.083 | 0.167 | 0.028 | 0.139 | 0.083 | 0.111 | 0.028 | 0.111 | 0.056 | 0.042 |
| 90 | 0.167 | 0.000 | 0.333 | 0.167 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.167 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.167 | 0.000 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17: Matriz con m=13 y n=2 para el repuesto 1

| | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 30 | 0.113 | 0.021 | 0.113 | 0.082 | 0.097 | 0.093 | 0.068 | 0.058 | 0.052 | 0.049 | 0.117 | 0.120 | 0.017 |
| 35 | 0.092 | 0.155 | 0.207 | 0.052 | 0.060 | 0.050 | 0.056 | 0.042 | 0.029 | 0.053 | 0.093 | 0.103 | 0.008 |
| 40 | 0.094 | 0.069 | 0.141 | 0.066 | 0.099 | 0.071 | 0.077 | 0.053 | 0.056 | 0.040 | 0.107 | 0.110 | 0.018 |
| 45 | 0.105 | 0.017 | 0.098 | 0.113 | 0.128 | 0.088 | 0.056 | 0.066 | 0.024 | 0.059 | 0.152 | 0.085 | 0.008 |
| 50 | 0.108 | 0.020 | 0.096 | 0.084 | 0.120 | 0.080 | 0.085 | 0.062 | 0.072 | 0.045 | 0.117 | 0.087 | 0.025 |
| 55 | 0.110 | 0.017 | 0.091 | 0.071 | 0.118 | 0.088 | 0.054 | 0.064 | 0.067 | 0.022 | 0.098 | 0.170 | 0.030 |
| 60 | 0.090 | 0.039 | 0.115 | 0.064 | 0.119 | 0.069 | 0.100 | 0.059 | 0.073 | 0.033 | 0.105 | 0.111 | 0.022 |
| 65 | 0.097 | 0.050 | 0.124 | 0.061 | 0.100 | 0.081 | 0.091 | 0.053 | 0.069 | 0.041 | 0.104 | 0.109 | 0.021 |
| 70 | 0.091 | 0.011 | 0.088 | 0.042 | 0.149 | 0.102 | 0.096 | 0.046 | 0.076 | 0.032 | 0.117 | 0.128 | 0.023 |
| 75 | 0.086 | 0.028 | 0.088 | 0.061 | 0.162 | 0.068 | 0.107 | 0.060 | 0.082 | 0.031 | 0.119 | 0.082 | 0.026 |
| 80 | 0.091 | 0.048 | 0.111 | 0.072 | 0.140 | 0.068 | 0.073 | 0.063 | 0.048 | 0.037 | 0.124 | 0.108 | 0.018 |
| 85 | 0.110 | 0.028 | 0.119 | 0.089 | 0.076 | 0.089 | 0.066 | 0.059 | 0.055 | 0.049 | 0.109 | 0.131 | 0.019 |
| 90 | 0.103 | 0.051 | 0.134 | 0.077 | 0.075 | 0.070 | 0.109 | 0.059 | 0.086 | 0.041 | 0.093 | 0.076 | 0.026 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18: Matriz con m=13 y n=3 para el repuesto 1

| | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 30 | 0.101 | 0.036 | 0.112 | 0.075 | 0.113 | 0.081 | 0.076 | 0.059 | 0.059 | 0.041 | 0.114 | 0.114 | 0.020 |
| 35 | 0.098 | 0.057 | 0.130 | 0.071 | 0.104 | 0.075 | 0.074 | 0.056 | 0.054 | 0.043 | 0.110 | 0.111 | 0.018 |
| 40 | 0.100 | 0.043 | 0.118 | 0.073 | 0.110 | 0.078 | 0.076 | 0.057 | 0.058 | 0.042 | 0.113 | 0.112 | 0.019 |
| 45 | 0.101 | 0.035 | 0.111 | 0.077 | 0.116 | 0.080 | 0.076 | 0.060 | 0.057 | 0.042 | 0.117 | 0.110 | 0.020 |
| 50 | 0.100 | 0.035 | 0.111 | 0.074 | 0.115 | 0.081 | 0.078 | 0.059 | 0.060 | 0.041 | 0.115 | 0.112 | 0.020 |
| 55 | 0.102 | 0.034 | 0.112 | 0.076 | 0.110 | 0.082 | 0.076 | 0.059 | 0.059 | 0.042 | 0.114 | 0.115 | 0.020 |
| 60 | 0.100 | 0.038 | 0.114 | 0.073 | 0.112 | 0.080 | 0.078 | 0.058 | 0.060 | 0.041 | 0.113 | 0.112 | 0.020 |
| 65 | 0.100 | 0.040 | 0.116 | 0.073 | 0.111 | 0.079 | 0.077 | 0.058 | 0.059 | 0.041 | 0.113 | 0.113 | 0.020 |
| 70 | 0.101 | 0.033 | 0.110 | 0.074 | 0.114 | 0.081 | 0.078 | 0.059 | 0.062 | 0.040 | 0.113 | 0.115 | 0.021 |
| 75 | 0.100 | 0.036 | 0.112 | 0.073 | 0.115 | 0.080 | 0.079 | 0.058 | 0.061 | 0.041 | 0.114 | 0.111 | 0.021 |
| 80 | 0.100 | 0.040 | 0.115 | 0.075 | 0.112 | 0.079 | 0.077 | 0.058 | 0.058 | 0.042 | 0.114 | 0.111 | 0.020 |
| 85 | 0.101 | 0.037 | 0.113 | 0.075 | 0.112 | 0.081 | 0.076 | 0.058 | 0.058 | 0.042 | 0.114 | 0.114 | 0.020 |
| 90 | 0.099 | 0.040 | 0.116 | 0.072 | 0.112 | 0.079 | 0.078 | 0.057 | 0.059 | 0.041 | 0.113 | 0.112 | 0.020 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19: Matriz con m=13 y n=4 para el repuesto 1

| | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 30 | 0.100 | 0.038 | 0.114 | 0.074 | 0.112 | 0.080 | 0.077 | 0.058 | 0.059 | 0.041 | 0.114 | 0.113 | 0.020 |
| 35 | 0.100 | 0.039 | 0.115 | 0.074 | 0.112 | 0.080 | 0.077 | 0.058 | 0.059 | 0.041 | 0.114 | 0.112 | 0.020 |
| 40 | 0.100 | 0.038 | 0.114 | 0.074 | 0.112 | 0.080 | 0.077 | 0.058 | 0.059 | 0.041 | 0.114 | 0.112 | 0.020 |
| 45 | 0.100 | 0.038 | 0.114 | 0.074 | 0.112 | 0.080 | 0.077 | 0.058 | 0.059 | 0.041 | 0.114 | 0.112 | 0.020 |
| 50 | 0.100 | 0.038 | 0.114 | 0.074 | 0.112 | 0.080 | 0.077 | 0.058 | 0.059 | 0.041 | 0.114 | 0.113 | 0.020 |
| 55 | 0.100 | 0.038 | 0.114 | 0.074 | 0.112 | 0.080 | 0.077 | 0.058 | 0.059 | 0.041 | 0.114 | 0.113 | 0.020 |
| 60 | 0.100 | 0.038 | 0.114 | 0.074 | 0.112 | 0.080 | 0.077 | 0.058 | 0.059 | 0.041 | 0.114 | 0.113 | 0.020 |
| 65 | 0.100 | 0.038 | 0.114 | 0.074 | 0.112 | 0.080 | 0.077 | 0.058 | 0.059 | 0.041 | 0.114 | 0.112 | 0.020 |
| 70 | 0.100 | 0.038 | 0.114 | 0.074 | 0.112 | 0.080 | 0.077 | 0.058 | 0.059 | 0.041 | 0.114 | 0.113 | 0.020 |
| 75 | 0.100 | 0.038 | 0.114 | 0.074 | 0.112 | 0.080 | 0.077 | 0.058 | 0.059 | 0.041 | 0.114 | 0.113 | 0.020 |
| 80 | 0.100 | 0.038 | 0.114 | 0.074 | 0.112 | 0.080 | 0.077 | 0.058 | 0.059 | 0.041 | 0.114 | 0.112 | 0.020 |
| 85 | 0.100 | 0.038 | 0.114 | 0.074 | 0.112 | 0.080 | 0.077 | 0.058 | 0.059 | 0.041 | 0.114 | 0.112 | 0.020 |
| 90 | 0.100 | 0.038 | 0.114 | 0.074 | 0.112 | 0.080 | 0.077 | 0.058 | 0.059 | 0.041 | 0.114 | 0.112 | 0.020 |

Fuente: Elaboración propia

D: Matriz de Estado estable

Tabla 20: Matriz con m=13 y n=5 para el repuesto 1

| | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 30 | 0.100 | 0.038 | 0.114 | 0.074 | 0.112 | 0.080 | 0.077 | 0.058 | 0.059 | 0.041 | 0.114 | 0.112 | 0.020 |
| 35 | 0.100 | 0.038 | 0.114 | 0.074 | 0.112 | 0.080 | 0.077 | 0.058 | 0.059 | 0.041 | 0.114 | 0.112 | 0.020 |
| 40 | 0.100 | 0.038 | 0.114 | 0.074 | 0.112 | 0.080 | 0.077 | 0.058 | 0.059 | 0.041 | 0.114 | 0.112 | 0.020 |
| 45 | 0.100 | 0.038 | 0.114 | 0.074 | 0.112 | 0.080 | 0.077 | 0.058 | 0.059 | 0.041 | 0.114 | 0.112 | 0.020 |
| 50 | 0.100 | 0.038 | 0.114 | 0.074 | 0.112 | 0.080 | 0.077 | 0.058 | 0.059 | 0.041 | 0.114 | 0.112 | 0.020 |
| 55 | 0.100 | 0.038 | 0.114 | 0.074 | 0.112 | 0.080 | 0.077 | 0.058 | 0.059 | 0.041 | 0.114 | 0.112 | 0.020 |
| 60 | 0.100 | 0.038 | 0.114 | 0.074 | 0.112 | 0.080 | 0.077 | 0.058 | 0.059 | 0.041 | 0.114 | 0.112 | 0.020 |
| 65 | 0.100 | 0.038 | 0.114 | 0.074 | 0.112 | 0.080 | 0.077 | 0.058 | 0.059 | 0.041 | 0.114 | 0.112 | 0.020 |
| 70 | 0.100 | 0.038 | 0.114 | 0.074 | 0.112 | 0.080 | 0.077 | 0.058 | 0.059 | 0.041 | 0.114 | 0.112 | 0.020 |
| 75 | 0.100 | 0.038 | 0.114 | 0.074 | 0.112 | 0.080 | 0.077 | 0.058 | 0.059 | 0.041 | 0.114 | 0.112 | 0.020 |
| 80 | 0.100 | 0.038 | 0.114 | 0.074 | 0.112 | 0.080 | 0.077 | 0.058 | 0.059 | 0.041 | 0.114 | 0.112 | 0.020 |
| 85 | 0.100 | 0.038 | 0.114 | 0.074 | 0.112 | 0.080 | 0.077 | 0.058 | 0.059 | 0.041 | 0.114 | 0.112 | 0.020 |
| 90 | 0.100 | 0.038 | 0.114 | 0.074 | 0.112 | 0.080 | 0.077 | 0.058 | 0.059 | 0.041 | 0.114 | 0.112 | 0.020 |

Fuente: Elaboración propia

Con la matriz de estado estable obtenemos el pronóstico más acertado para la demanda aleatoria del repuesto 1. Por ejemplo:

Demanda promedio obtenido mediante la Cadena de Markov= $0.100*30 + 0.038*35 + 0.114*40 + 0.074*45 + 0.112*50 + 0.080*55 + 0.077*60 + 0.058*65 + 0.059*70 + 0.041*75 + 0.114*80 + 0.112*85 + 0.020*90 = 59$ unidades

Haciendo uso de la Cadena de Markov tenemos:

Tabla 21: Simulación con una demanda promedio de 59 según Markov para el respuesto 1

| SEMANA | COMPRA | DISPONIBLE | DEMANDA | VENTA | ESCASEZ | INVENTARIO |
|--------|--------|------------|---------|-------|---------|------------|
| 1 | 60 | 60 | 59 | 59 | 0 | 1 |
| 2 | 75 | 76 | 59 | 59 | 0 | 16 |
| 3 | 60 | 76 | 59 | 59 | 0 | 1 |
| 4 | 65 | 66 | 59 | 59 | 0 | 6 |
| 5 | 73 | 79 | 59 | 59 | 0 | 14 |
| 6 | 63 | 77 | 59 | 59 | 0 | 4 |
| 7 | 53 | 57 | 59 | 57 | 2 | 0 |
| 8 | 60 | 60 | 59 | 59 | 0 | 1 |
| 9 | 83 | 84 | 59 | 59 | 0 | 24 |
| 10 | 73 | 97 | 59 | 59 | 0 | 14 |
| 11 | 60 | 74 | 59 | 59 | 0 | 1 |
| 12 | 53 | 54 | 59 | 54 | 5 | 0 |
| 13 | 65 | 65 | 59 | 59 | 0 | 6 |
| 14 | 63 | 69 | 59 | 59 | 0 | 4 |
| 15 | 40 | 44 | 59 | 44 | 15 | 0 |
| 16 | 63 | 63 | 59 | 59 | 0 | 4 |
| 17 | 78 | 82 | 59 | 59 | 0 | 19 |
| 18 | 60 | 79 | 59 | 59 | 0 | 1 |
| 19 | 48 | 49 | 59 | 49 | 10 | 0 |
| 20 | 50 | 50 | 59 | 50 | 9 | 0 |
| 21 | 43 | 43 | 59 | 43 | 16 | 0 |
| 22 | 40 | 40 | 59 | 40 | 19 | 0 |
| 23 | 40 | 40 | 59 | 40 | 19 | 0 |
| 24 | 30 | 30 | 59 | 30 | 29 | 0 |
| 25 | 45 | 45 | 59 | 45 | 14 | 0 |
| 26 | 70 | 70 | 59 | 59 | 0 | 11 |
| 27 | 55 | 66 | 59 | 59 | 0 | 0 |
| 28 | 48 | 48 | 59 | 48 | 11 | 0 |
| 29 | 73 | 73 | 59 | 59 | 0 | 14 |
| 30 | 63 | 77 | 59 | 59 | 0 | 4 |
| 31 | 65 | 69 | 59 | 59 | 0 | 6 |
| 32 | 85 | 91 | 59 | 59 | 0 | 26 |
| 33 | 70 | 96 | 59 | 59 | 0 | 11 |

| | | | | | | |
|-------|------|----|-------------|----|------------|------------|
| 34 | 63 | 74 | 59 | 59 | 0 | 4 |
| 35 | 60 | 64 | 59 | 59 | 0 | 1 |
| 36 | 65 | 66 | 59 | 59 | 0 | 6 |
| 37 | 60 | 66 | 59 | 59 | 0 | 1 |
| 38 | 38 | 39 | 59 | 39 | 20 | 0 |
| 39 | 35 | 35 | 59 | 35 | 24 | 0 |
| 40 | 38 | 38 | 59 | 38 | 21 | 0 |
| 41 | 58 | 58 | 59 | 58 | 1 | 0 |
| 42 | 78 | 78 | 59 | 59 | 0 | 19 |
| 43 | 60 | 79 | 59 | 59 | 0 | 1 |
| 44 | 35 | 36 | 59 | 36 | 23 | 0 |
| 45 | 43 | 43 | 59 | 43 | 16 | 0 |
| 46 | 73 | 73 | 59 | 59 | 0 | 14 |
| 47 | 85 | 99 | 59 | 59 | 0 | 26 |
| 48 | 73 | 99 | 59 | 59 | 0 | 14 |
| 49 | 58 | 72 | 59 | 59 | 0 | 0 |
| 50 | 63 | 63 | 59 | 59 | 0 | 4 |
| 51 | 63 | 67 | 59 | 59 | 0 | 4 |
| 52 | 53 | 57 | 59 | 57 | 2 | 0 |
| Total | 3073 | | 3068 | | 256 | 282 |

Tabla 22: Datos para el respuesto 1

| | | |
|----|----------------|----------|
| D | Demanda anual | 3,068.00 |
| i | Tasa | 3.0% |
| Cp | Costo de pedir | 200.00 |
| Cm | Costo unitario | 30.00 |
| Cf | Costo escasez | 10.00 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23: Costo Total actual y con la propuesta de Markov

| | Actualmente | Propuesta pero con Markov |
|------------------------------|-------------|---------------------------|
| Costo de pedir | 10,400 | 10,400 |
| Costo de Compra | 92,190 | 92,190 |
| Costo de Escasez | 260 | 2,560 |
| Costo adicional | - | - |
| Costo de Mantener Inventario | 1,856 | 254 |
| Total | 94,306 | 95,004 |

Fuente: Elaboración propia

Costos actuales

El costo de compra=3,073 unidades (dato de compra de la tabla 13)* 30 soles
precio unitario = 92,190 soles.

Costo de escasez = 26 unidades (dato de escasez de la tabla 13) * 10
soles=260 soles.

Costo de mantener inventario = 3%*30 (precio unitario)* 2062 unidades (dato
de inventario de la tabla 13) = 1,856.0 soles. No se considera el costo de pedir
porque va ser constante para ambos métodos.

Costos para la propuesta con Markov

El costo de compra=3,073 unidades (dato de compra de la tabla 13)* 30 soles
precio unitario = 92,190 soles.

Costo de escasez = 256 unidades (dato de escasez de la tabla 21) * 10
soles=2,560 soles.

Costo de mantener inventario = 3%*30 (precio unitario)* 282 unidades (dato
de inventario de la tabla 21) = 254 soles. No se considera el costo de pedir
porque va ser constante para ambos métodos.

Costos para el modelo de inventarios, Modelo EOQ con faltantes, usando el dato de la demanda promedio obtenido con la Cadena de Markov.

Costo total = costo de compra + Costo de pedir + Costo de escasez + Costo
de mantener

Formulas:

$$\text{Costo de Escasez} = (S^2 / 2Q) * Cf$$

$$\text{Costo de Pedir} = (D / Q) * Cp$$

$$\text{Costo de Mantener} = (Q-S)^2 / 2Q * Cm * i$$

$$S \text{ (escasez en unidades)} = (Q * Cm * i) / (Cm * i + Cf)$$

$$Q \text{ (óptimo)} = (2 \cdot D \cdot C_p \cdot (C_m \cdot i + C_f) / C_f \cdot C_m \cdot i)^{1/2}$$

$$\text{Número de pedidos} = D / Q$$

Donde:

D= demanda

C_p= Costo de pedir

C_f = Costo faltante

C_m= Costo unitario

Tabla 24: Costo Total anual con el Model EOQ con faltantes con el dato de Markov

| | |
|---------------------------------|------------------|
| Demanda anual | 3,068.00 |
| Tasa | 0.03 |
| Costo de pedir | 200.00 |
| Costo unitario | 30.00 |
| Costo escasez | 10.00 |
| Q (lote) | 1,219.13 |
| S (escasez, en unidades) | 100.66 |
| Costo de Compra | 92,040.00 |
| Costo de Pedir | 503.31 |
| Costo de Mantener | 461.75 |
| Costo de Escasez | 41.56 |
| Costo Total Anual | 93,046.62 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25: Comparación de los costos usando los tres modelos presentados

| Actualmente | Propuesta pero con Markov | Modelo EOQ con faltantes con el dato de Markov |
|------------------|---------------------------|--|
| 94,305.80 | 95,004 | 93,047 |

Fuente: Elaboración propia

Respuesta: Elegir la cadena de Markov para calcular la demanda promedio para cada semana.

De esta misma forma se ha desarrollado para el resto de repuestos en estudio, como se puede observar en el anexo 4.

4.2.2. Herramienta Kardex

El Kardex es un registro de manera organizada de la mercancía que se tiene en un almacén. Para hacerlo, es necesario hacer un inventario de todo el contenido, la cantidad, un valor de medida y el precio unitario. También se pueden clasificar los productos por sus características comunes. Se realizara el registro de entradas y salidas de materiales tanto de manera física como la corroboración de forma virtual, mediante una tabla en Microsoft Excel que con la ayuda de tablas macros, permite el registro de materiales con códigos asignados a cada uno y calcula el stock final a la fecha, así mismo muestra el detalle de los movimientos por tipo de material. Esta información será validada con los tickets de despacho y recepción que se van a emitir al momento de la solicitud de atención de los materiales en almacén. Las causas que tienen como propuesta el Kardex son las siguientes:

Causa Raíz 10: Falta de control de repuestos por ausencia de formatos

Esta causa hace referencia que en la actualidad la empresa de transporte Fabián Express S.A.C. no maneja ningún tipo de formato para el registro y control de los procesos logísticos tales como: entradas y salidas de mercancías, despachos, recepciones, etc. que son indispensables para el funcionamiento esperado del área de logística.

Causa Raíz 11: No se cuenta con una adecuada gestión de inventarios

Transporte de carga Fabián Express S.A.C. no tiene monitoreado la cantidad de repuestos a pedir, ni mucho menos cuando pedir en cada semana. Se va a realizar el estudio para los 13 repuestos mas frecuentes para solucionar las siete fallas imprevistas mas comunes.

Causa Raíz 08: Falta de indicadores de control de inventarios

Esta causa explica que Fabián Express S.A.C. no maneja ningún tipo de indicador ya sea en los procesos logísticos como en mantenimiento, los cálculos y evolución de su crecimiento, los stock; lo manejan en base a la experiencia y aproximaciones por parte del gerente general y ejecutivo, quienes confían en su conocimiento empírico para decidir lo que es conveniente y no para la empresa, pero esto no quiere decir que no estén dispuestos a desarrollar nuevas propuestas para la mejora de su empresa.

4.2.2.1. Explicación de costos perdidos por las causas 10, 11 y 08

Costo para la CR 10: Falta de control de repuestos por ausencia de formatos

El costo para esta causa se determinó contando con información de los últimos robos que acontecieron en el 2016, siendo difícil determinar la cantidad de repuestos sustraídos, por la falta de registro de los mismos, dentro de la perdida había repuestos pequeños y grandes. El monto total de los sustraído fue de S/. 7,118.00 para el 2016.

Tabla 26: Cantidades y fechas de robos reportados en el 2016

| Descripción de repuestos y materiales perdidos | Meses de Pérdidas de repuestos | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | ene-16 | feb-16 | mar-16 | abr-16 | may-16 | jun-16 | jul-16 | ago-16 | sep-16 | oct-16 | nov-16 | dic-16 |
| R5: | | 0 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| R20: | | 1 | 3 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| R35: | | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 1 |
| R41: | | 5 | 4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| R62: | | | | | | | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| R13: | | | | 2 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| R7: | | | | 1 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| R9: | 1 | | | 3 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| R8: | 3 | | | | | | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| R11: | 2 | | | | | | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27 : Precio de los repuestos robados

| Repuestos | Precio promedio de repuestos y materiales |
|-----------|---|
| R6: | 60.00 |
| R20: | 185.00 |
| R35: | 60.00 |
| R41: | 72.00 |
| R60: | 63.00 |
| R13: | 48.00 |
| R7: | 62.00 |
| R9: | 110.00 |
| R18: | 120.00 |
| R13: | 84.00 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28: Costos generados por los robos reportados en el año 2016

| Mes | Costo x Robos reportadas al mes (S./MES) |
|--------|--|
| ene-16 | 638.00 |
| feb-16 | 665.00 |
| mar-16 | 1,023.00 |
| abr-16 | 978.00 |
| may-16 | 502.00 |
| jun-16 | 120.00 |
| jul-16 | 528.00 |
| ago-16 | - |
| sep-16 | 874.00 |
| oct-16 | - |
| nov-16 | - |
| dic-16 | 1,790.00 |
| Total | 7,118.00 |

Fuente: Elaboración propia

Costo para la CR 08: Falta de indicadores de control de inventarios

El costeo para esta causa raíz se desarrolló con la información de la rotación de los materiales, identificando una lista de repuestos que se encontraban sin rotación por meses y que la empresa no mide y no se da cuenta del costo que genera tener almacenado repuestos que ya no se usan en el área de mantenimiento y que pueden ser vendidos para recuperar un % del precio de compra, el resultado de este costo fue de S/. 1,337.22 por el total de tiempo de almacenamiento de los diferentes repuestos como lo muestra las siguientes tablas:

Tabla 29 : Repuestos sin rotación

| Repuestos | Cantidad | Precio (S./ /UN) | Precio Total (S.) | Tiempo de almacenamiento (MESES) | Gastos incurridos en almacén (S./ /TPO ALM) |
|--|----------|---------------------|----------------------|--|---|
| R56 INYECTOR COMPLETO | 5.00 | 65.00 | 325.00 | 18 | 23,760.00 |
| R50 BATERIA 12V 25P (INVERTIDO) | 6.00 | 38.00 | 228.00 | 16 | 21,120.00 |
| R30 CABLE VERDE 14 AWG X 10 MT | 4.00 | 42.00 | 168.00 | 14 | 18,480.00 |
| R20 ESTATOR DE ALTERNADOR | 7.00 | 52.00 | 364.00 | 13 | 17,160.00 |
| R62 NIPLE MANGUERA AIRE | 8.00 | 62.00 | 496.00 | 13 | 17,160.00 |
| R72 PERNO M 12x1.5x60 | 6.00 | 29.00 | 174.00 | 13 | 17,160.00 |
| R91 ANILLO AL A 24X29 | 11.00 | 45.00 | 495.00 | 13 | 17,160.00 |
| R105 COCODRILO PARA CABLE DE BRONCE | 15.00 | 18.00 | 270.00 | 12 | 15,840.00 |
| R109 ARO TUBULAR | 8.00 | 23.00 | 184.00 | 11 | 14,520.00 |
| R46 MODULO EJE POSTERIOR | 5.00 | 22.00 | 110.00 | 11 | 14,520.00 |
| Total | | | 2,814.00 | 134 | 176,880.00 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30 : Costo por mantener inventario de materiales sin rotación

| | |
|--|-----------------|
| Inventario promedio de repuestos en el 2016 (S/. /AÑO) | 372,221.50 |
| Gastos incurridos en almacén (S/. /TPO ALM) | 176,880.00 |
| Índice del Gasto de almacenaje de repuestos | 0.48 |
| Participación de repuestos sin rotación en el inventario promedio | 2,814.00 |
| Costo total de almacenaje de repuestos sin rotación (S/./PERIODO) | 1,337.22 |

Fuente: Elaboración propia

Costo para la CR 11: No se cuenta con una adecuada gestión de inventarios

Este costo para la causa raíz 11, se determinó teniendo en cuenta los 13 repuestos en estudio, este costo actualmente esta formado por el costo de compra, costo de pedir, costo de escasez y costo de mantener inventario, el total de este costo asciende a 639,834.00 soles al culminar el 2016.

Tabla 31: Costo de la gestión de inventarios actual

| | Costo de compra | Costo de pedir | Costo de escasez | Costo de Mantener inventario | Total |
|--------------|-----------------|----------------|------------------|------------------------------|----------------|
| Repuesto 1 | 92,190 | | 260 | 1,856 | 94,306 |
| Repuesto 2 | 84,924 | | 470 | 3,166 | 88,560 |
| Repuesto 3 | 24,708 | | - | 1,743 | 26,451 |
| Repuesto 4 | 68,172 | - | - | 5,206 | 73,378 |
| Repuesto 5 | 55,012 | - | 190 | 1,805 | 57,007 |
| Repuesto 6 | 79,275 | - | - | 5,746 | 85,021 |
| Repuesto 7 | 26,455 | - | 260 | 1,310 | 28,025 |
| Repuesto 8 | 41,580 | - | 210 | 1,555 | 43,345 |
| Repuesto 9 | 31,275 | - | 120 | 1,629 | 33,024 |
| Repuesto 10 | 7,720 | - | 120 | 682 | 8,522 |
| Repuesto 11 | 35,445 | - | - | 4,498 | 39,943 |
| Repuesto 12 | 11,914 | - | 50 | 601 | 12,565 |
| Repuesto 13 | 36,800 | - | 50 | 2,437 | 39,287 |
| Total | 595,470 | 10,400 | 1,730 | 32,234 | 639,834 |

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.2. Desarrollo de la propuesta: Kardex

Esta herramienta se desarrolló en Microsoft Excel, con la ayuda de tablas macros facilitando que el formato sea didáctico y sencillo, permitiendo ingresar datos de materiales y productos terminados con un par de números que será su codificación, así mismo las cantidades o salidas ingresadas son calculadas automáticamente y si se desea ver el detalle de los movimientos y registro de un tipo de material, esto se puede hacer en la siguiente pestaña, adicional a ello se propondrá el formato de Kardex físico, que debe ser el primer registro para almacén, para que posteriormente al culminar el día pase los datos al Kardex virtual y corrobore, de ser necesario, las atenciones con el formato de los vales manuales, en donde si un material es solicitado para su atención, tendrá la firma del encargado de almacén y de la persona que recibe o solicita el requerimiento.

Tabla 32 : Kardex virtual para la empresa de transportes Fabián Express S.A.C.

CONTROL DE REPUESTOS DE FABIÁN EXPRESS S.A.C.

| Código | Descripción | Fecha | Cantidad | Movimiento |
|--------------|-------------------|-------|----------|------------|
| | | | | |
| Fecha | 30/09/2017 | | | |

| Productos | | | | |
|------------------|------------------------------------|----------|---------|-------|
| Código | Descripción | Entradas | Salidas | Stock |
| 1 | KING PIN 2" | | | |
| 2 | TEMPLADOR DE CARRETA | 100 | | 100 |
| 3 | KIT DE GANCHO JALADOR TIPO JOST | 500 | 100 | 400 |
| 4 | KIT DE GANCHO JALADOR TIPO KRAMER | | | |
| 5 | DIAFRAG.CILIN.DELT.30" | | | |
| 6 | MODULO EJE POSTERIOR | 200 | | 200 |
| 7 | EXTREMO BARRA DIRECCION | | | |
| 8 | MOTOR ELECTRICO | | | |
| 9 | BATERIA (BORNE INVERTIDO) | | | |
| 10 | BATERIA 12V 25P (INVERTIDO) | | | |
| 11 | REMACHES BALATA | | | |
| 12 | SELENOIDE ARRANCADOR | | | |
| 13 | SELENOIDE RELE ARRANCADOR - SNP.PE | | | |
| 14 | EXTREMO BARRA DIRECCION | | | |
| 15 | TUERCA ACERO | | | |
| 16 | INYECTOR COMPLETO | | | |
| 17 | RACOR ANGULAR | | | |
| 18 | ELEMENTO AIRE (ACTR) | | | |
| 19 | ELEMENTO AIRE (ACTR) -SNP.CL | | | |
| 20 | RODAJE RUEDA POST INT SNP.PE | | | |

logísticos adecuados, con esta herramienta mejoraremos el registro de repuestos, que el personal conozca la cantidad de cada tipo de repuesto con que cuentan, evitar pérdidas de los mismos, estandarizar procesos de requerimiento, etc. Fabián Express S.A.C. va a contar con formatos para diferentes procesos logísticos, lo que va inculcar la política de mejora continua.

Tabla 34 : Costos perdidos antes y después del desarrollo del Kardex

| CR | Descripción | Indicador % | Herramienta Mejorada | VA % | Pérdida Actual (S./AÑO) | Pérdida mejorada (S./AÑO) |
|-------|--|---|----------------------|------|-------------------------|---------------------------|
| Cr10 | Falta de control de repuestos por ausencia de formatos | % de formatos de control de repuestos | Kardex | 0% | 7,118.00 | 0 |
| Cr11 | No se cuenta con una adecuada gestión de inventarios | % de inventarios controlados | | 10% | 32,234.00 | 3,906.00 |
| Cr8 | Falta de indicadores de control de inventarios | % de indicadores de control de inventario | | 0% | 1,337.22 | 0 |
| Total | | | | | 40,689.22 | 3,906.00 |

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 5

EVALUACIÓN

ECONÓMICA

Y FINANCIERA

Inversión de la propuesta

Para poder proponer las mejoras de cada Causa Raíz, se elaboró un presupuesto, tomando en cuenta todas las herramientas, materiales de oficina y personal de apoyo para que todo funcione correctamente. En las tablas siguientes se detalla el costo de inversión para reducir cada una de las causas raíces

5.2.1. Inversión para la propuesta de un modelo de Cadena de Markov

Tabla 35: Inversión de personal para la Cadena de Markov

| Contratación | CANT | Remuneración (S./MES) |
|--|------|-----------------------|
| Practicante de Ingeniería Industrial | 1 | 850.00 |
| Visita de un Ing. Industrial (mensual) | 1 | 2,000.00 |
| TOTAL (S./MES) | | 2,850.00 |
| TOTAL (S./AÑO) | | 34,200.00 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36: Inversión de materiales y equipos para la Cadena de Markov

| Compra | CANT | Costo (S./) |
|---|------|-----------------|
| Laptop HP: Intel Core i5, 4GB Ram | 2 | 6,000.00 |
| Multifuncional HP: Scanner, Fotocopiadora e impresora | 1 | 450.00 |
| Escritorio de melamine 1.00x0.50m, con cajones | 1 | 200.00 |
| Silla de escritorio con ruedas/ Negro | 1 | 100.00 |
| COMPRA TOTAL (S/) | | 6,750.00 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37: Depreciación y reinversión de equipos para la Cadena de Markov

| Vida Útil (AÑOS) | Depreciación (S/.) |
|--------------------|--------------------|
| 4 | 125.00 |
| 4 | 9.38 |
| 8 | 2.08 |
| 8 | 1.04 |
| TOTAL (MES) | 137.50 |
| TOTAL (AÑO) | 1,650.00 |

Fuente: Elaboración propia

| | |
|-----------------------------|-----------------|
| Reinversión (4 AÑOS) | 6,450.00 |
| Reinversión (8 AÑOS) | 300.00 |

5.2.2. Inversión para la propuesta la herramienta de Kardex

Tabla 38: Depreciación y reinversión de equipos para Cadena de Markov

| Compra | CANT (MES) | CANT (AÑO) | Costo Unit (S/.) | Costo Total (S/.) |
|--|------------|------------|------------------|-------------------|
| Computadora de escritorio DELL: Intel Core i5, 4GB Ram | 1 | 2 | 3,000.00 | 6000.00 |
| Multifuncional HP: Scanner, Fotocopiadora e impresora | 1 | 1 | 450.00 | 450.00 |
| Escritorio de melamine 1.00x0.50m, con cajones | 1 | 1 | 200.00 | 200.00 |
| Silla de escritorio con ruedas/ Negro | 1 | 1 | 100.00 | 100.00 |
| Estantes Metálicos de 50x100x192 cm / 4 niveles | 2 | 1 | 150.00 | 150.00 |
| Formato Kardex físico (UN) | 100 | 1200 | 0.12 | 144.00 |
| Formato vale manual de despacho y recepción x 100 UN (TLN) | 3 | 36 | 2.50 | 90.00 |
| Cartulina Roja/ Amarilla | 5 | 5 | 0.50 | 2.50 |
| Stikers para identificación (Repuestos) | 2 | 2 | 6.00 | 12.00 |
| Papel Bond A4 (MLL) | 2 | 24 | 10.00 | 240.00 |
| Archivadores de palanca / Lomo ancho | 10 | 10 | 7.00 | 70.00 |
| Porta Lapicero acrílico | 5 | 5 | 1.50 | 7.50 |
| Bandeja acrílica porta papel/ 3 niveles | 5 | 5 | 10.00 | 50.00 |
| TOTAL (S/.) | | | | 7,516.00 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39: Depreciación y reinversión de equipos para herramienta Kardex

| Vida Útil (AÑOS) | Depreciación (S/.) | | |
|--------------------|--------------------|-----------------|--|
| 4 | 125.00 | | |
| 4 | 9.38 | | |
| 8 | 2.08 | | |
| 8 | 1.04 | | |
| 8 | 1.56 | | |
| TOTAL (MES) | | 139.06 | |
| TOTAL (AÑO) | | 1,668.75 | |

| | |
|-----------------------------|-----------------|
| Reinversión (4 AÑOS) | 6,450.00 |
| Reinversión (8 AÑOS) | 450.00 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40 : Resumen de costos de inversiones, depreciación y reinversiones por las herramientas de mejora

| | |
|---------------------------------|------------------------|
| TOTAL INVERSIONES | TOTAL (S/./AÑO) |
| DESARROLLO DE CADENAS DE MARKOV | 6,750.00 |
| KARDEX | 7,516.00 |
| TOTAL (S/.) | 14,266.00 |
| COSTOS OPERATIVOS | 34,200.00 |
| DEPRECIACIÓN | 3,318.75 |
| Reinversión (4 AÑOS) | 12,900.00 |
| Reinversión (10 AÑOS) | 750.00 |

Fuente: Elaboración propia

5.2. Beneficios de la propuesta

En las siguientes tablas se detalla los beneficios de las herramientas de mejora comprendidas por la Cadena de Markov y Kardex, que ascienden a un monto total de S/. 75,623.22 soles de forma anual.

5.2.1. Beneficios de la propuesta de Cadena de Markov

Tabla 41 : Beneficio de la propuesta de la Cadena de Markov

| CR | Descripción | Herramienta Mejorada | Pérdida Actual (S./AÑO) | Pérdida mejorada (S./AÑO) | Ahorro S/. |
|----------|---|----------------------|-------------------------|---------------------------|------------|
| Cr4 | Elevadas paradas por fallas eléctricas | Cadena de Markov | 32,712.00 | 17,176.00 | 15,536.00 |
| Cr1 2 | Falta de stock de repuestos por demanda aleatoria | | 28,623.00 | 15,029.00 | 13,594.00 |
| Cr5 | Elevadas paradas por fallas mecánicas | | 20,445.00 | 10,735.00 | 9,710.00 |
| Total | | | 81,780.00 | 42,940.00 | 38,840.00 |

Fuente: Elaboración propia

5.2.2. Beneficios de la propuesta de Kardex

Tabla 42 : Beneficio de la propuesta de Kardex

| CR | Descripción | Herramienta Mejorada | Pérdida Actual (S./AÑO) | Pérdida mejorada (S./AÑO) | Ahorro S/. |
|-------|--|----------------------|-------------------------|---------------------------|------------|
| Cr10 | Falta de control de repuestos por ausencia de formatos | Kardex | 7,118.00 | 0 | 7,118.00 |
| Cr11 | No se cuenta con una adecuada gestión de inventarios | | 32,234.00 | 3,906.00 | 28,328.00 |
| Cr8 | Falta de indicadores de control de inventarios | | 1,337.22 | 0 | 1,337.22 |
| Total | | | 40,689.22 | 3,906.00 | 36,783.22 |

Fuente: Elaboración propia

5.3. Evaluación económica

A continuación se desarrolla el flujo de caja (inversión, egresos vs ingresos) proyectado a 10 años de la propuesta de implementación. Se considera que en el presente año se realiza la inversión y a partir del próximo año se perciben los ingresos y egresos que genera la propuesta.

Tabla 43: Requerimientos para elaboración del flujo de caja

| Requerimientos | |
|--------------------------|-------------------------------|
| Ingresos de la propuesta | Ahorros - Beneficios |
| Egresos por la propuesta | Costos operativos (MI,MD,CIF) |
| | Depreciación |
| | Intereses |
| | Inversión inicial |
| Costo de oportunidad | 20% |
| Horizonte de evaluación | Años |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44 : Estado de Resultados y Flujo de Caja

| ESTADO DE RESULTADOS | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| AÑO | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Ingresos | | S/. 50,343 .22 | S/. 52,860 .38 | S/. 55,503 .39 | S/. 58,278 .56 | S/. 61,192 .49 | S/. 64,252 .12 | S/. 67,464 .72 | S/. 70,837 .96 | S/. 74,379 .86 | S/. 78,098 .85 |
| Costos operativos | | S/. 34,200 .00 | S/. 35,910 .00 | S/. 37,705 .50 | S/. 39,590 .78 | S/. 41,570 .31 | S/. 43,648 .83 | S/. 45,831 .27 | S/. 48,122 .83 | S/. 50,528 .98 | S/. 53,055 .42 |
| Depreciación activos | | S/. 3,318. 75 | S/. 3,318. 75 | S/. 3,318. 75 | S/. 3,318. 75 | S/. 3,318. 75 | S/. 3,318. 75 | S/. 3,318. 75 | S/. 3,318. 75 | S/. 3,318. 75 | S/. 3,318. 75 |
| GAV | | S/. 3,420. 00 | S/. 3,591. 00 | S/. 3,770. 55 | S/. 3,959. 08 | S/. 4,157. 03 | S/. 4,364. 88 | S/. 4,583. 13 | S/. 4,812. 28 | S/. 5,052. 90 | S/. 5,305. 54 |
| Utilidad antes de impuestos | | S/. 9,404. 47 | S/. 10,040 .63 | S/. 10,708 .59 | S/. 11,409 .96 | S/. 12,146 .40 | S/. 12,919 .66 | S/. 13,731 .58 | S/. 14,584 .09 | S/. 15,479 .23 | S/. 16,419 .13 |
| Impuestos (30%) | | S/. 2,821. 34 | S/. 3,012. 19 | S/. 3,212. 58 | S/. 3,422. 99 | S/. 3,643. 92 | S/. 3,875. 90 | S/. 4,119. 47 | S/. 4,375. 23 | S/. 4,643. 77 | S/. 4,925. 74 |
| Utilidad después de impuestos | | S/. 6,583. 13 | S/. 7,028. 44 | S/. 7,496. 02 | S/. 7,986. 97 | S/. 8,502. 48 | S/. 9,043. 76 | S/. 9,612. 10 | S/. 10,208 .86 | S/. 10,835 .46 | S/. 11,493 .39 |

| FLUJO DE CAJA | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| AÑO | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Utilidad después de impuestos | | S/. 6,583. 13 | S/. 7,028. 44 | S/. 7,496. 02 | S/. 7,986. 97 | S/. 8,502. 48 | S/. 9,043. 76 | S/. 9,612. 10 | S/. 10,208 .86 | S/. 10,835 .46 | S/. 11,493 .39 |
| Depreciación | | S/. 3,318. 75 | S/. 3,318. 75 | S/. 3,318. 75 | S/. 3,318. 75 | S/. 3,318. 75 | S/. 3,318. 75 | S/. 3,318. 75 | S/. 3,318. 75 | S/. 3,318. 75 | S/. 3,318. 75 |
| Inversión | S/. - 14,266. 00 | | | | S/. 5,229. 00 | | | | S/. 5,979. 00 | | |
| | S/. - 14,266. 00 | S/. 9,901. 88 | S/. 10,347 .19 | S/. 10,814 .77 | S/. 6,076. 72 | S/. 11,821 .23 | S/. 12,362 .51 | S/. 12,930 .85 | S/. 7,548. 61 | S/. 14,154 .21 | S/. 14,812 .14 |

Fuente: Elaboración propia

Para poder determinar la rentabilidad de la propuesta, se ha realizado la evaluación a través de indicadores económicos: VAN, TIR, PRI y B/C. Se ha seleccionado una tasa de interés de 20% anual para los respectivos cálculos, determinado lo siguiente:

Tabla 45 : Indicadores Económicos (VAN, TIR Y PRI)

| AÑO | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------------------|----------------|--------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|
| Flujo Neto de Efectivo | S/. -14,266.00 | S/. 9,901.88 | S/. 10,347.19 | S/. 10,814.77 | S/. 6,076.72 | S/. 11,821.23 | S/. 12,362.51 | S/. 12,930.85 | S/. 7,548.61 | S/. 14,154.21 | S/. 14,812.14 |

| | | |
|-----|---------------|------|
| VAN | S/. 29,750.80 | |
| TIR | 70.14% | |
| PRI | 3.2 | años |

Fuente: Elaboración propia

La tabla anterior nos explica que se obtiene una ganancia al día de hoy con valor neto actual de **S/. 29,750.80** y una tasa interna de retorno de **70.14%** (ampliamente superior a la de **20%**), así mismo el periodo de recuperación de la inversión es de aproximadamente **3.2 años**.

Tabla 46: Indicadores Económicos (BC)

| AÑO | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Ingresos | | S/. 50,343.22 | S/. 52,860.38 | S/. 55,503.39 | S/. 58,278.56 | S/. 61,192.49 | S/. 64,252.12 | S/. 67,464.72 | S/. 70,837.96 | S/. 74,379.86 | S/. 78,098.85 |
| Egresos | | S/. 40,441.34 | S/. 42,513.19 | S/. 44,688.63 | S/. 46,972.84 | S/. 49,371.26 | S/. 51,889.61 | S/. 54,533.87 | S/. 57,310.35 | S/. 60,225.64 | S/. 63,286.71 |

| | |
|--------------|----------------|
| VAN Ingresos | S/. 247,327.63 |
| VAN Egresos | S/. 199,398.61 |

| | |
|-----|-----|
| B/C | 1.2 |
|-----|-----|

Fuente: Elaboración propia

La Tabla N° 45, nos muestra que el valor del B/C es de 1.2 lo que nos quiere decir que la empresa de Fabián Express por cada sol invertido, obtendrá un beneficio de 0.2 centavos.

CAPÍTULO 6

RESULTADOS

Y DISCUSIÓN

6.1. Resultados

Se puede concluir que las 2 áreas involucradas en la propuesta de mejora tienen un costo perdido actual que se detalla en la Tabla N°47, anexo a continuación. En el mismo se encuentra el costo perdido meta y el beneficio que implica la inversión realizada en las áreas respectivas. Asimismo en la tabla N° 48, se muestra este mismo detalle pero en forma porcentual.

Tabla 47: Resumen de costos perdidos actuales y beneficio de las propuestas

| ÁREA | COSTO PERDIDO ACTUAL | COSTO PERDIDO META | BENEFICIO |
|---------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| Mantenimiento | S/. 81,780.00 | S/. 68,220.00 | S/. 13,560.00 |
| Logística | S/. 40,689.22 | S/. 3,906.00 | S/. 36,783.22 |
| Total | S/. 122,469.22 | S/. 72,126.00 | S/. 50,343.22 |

Fuente: Elaboración propia

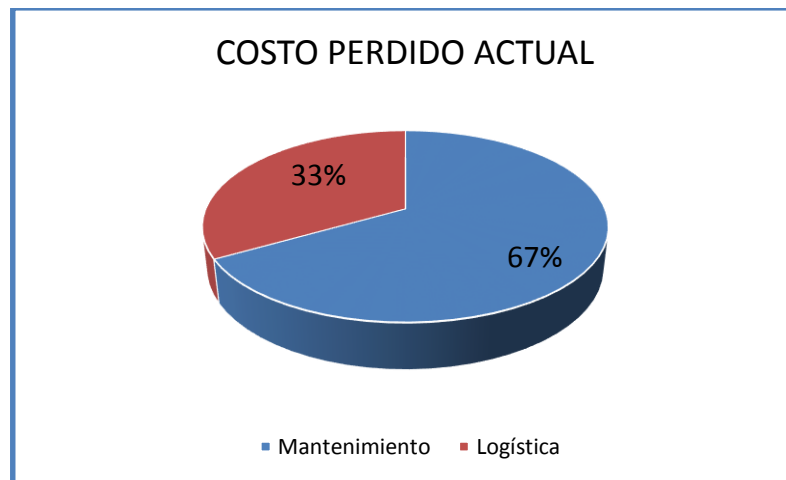


Figura 7 : Costo perdido actual por área

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 48 : Participación de costos perdidos actuales y beneficio de las propuestas

| ÁREA | COSTO PERDIDO ACTUAL | COSTO PERDIDO META | BENEFICIO |
|---------------|----------------------|--------------------|-------------|
| Mantenimiento | 67% | 95% | 27% |
| Logística | 33% | 5% | 73% |
| Total | 100% | 100% | 100% |

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se adjunta el beneficio de la propuesta por área. En el área de Logística se tiene un 73% de beneficio y en el área de Mantenimiento un 27%.

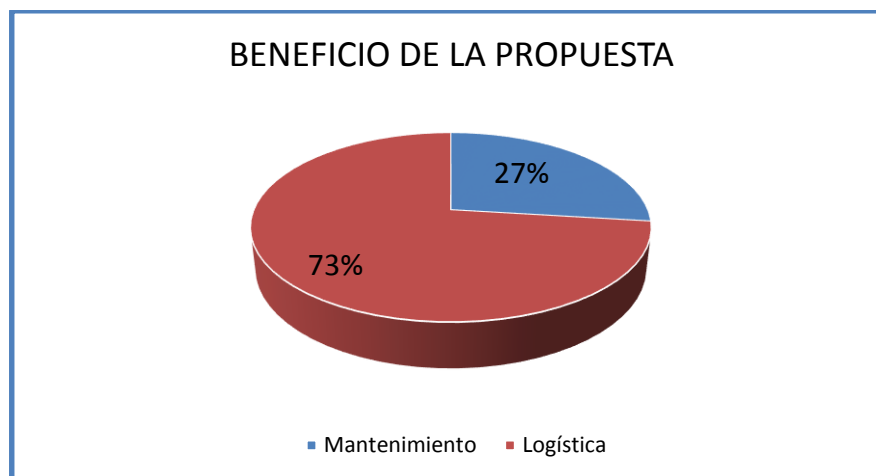


Figura 8 : Beneficio por área de las propuestas

Fuente: Elaboración Propia.

6.2. Discusión

6.2.1. Propuesta de un modelo de Cadena de Markov

En la siguiente Figura N° 10 podemos apreciar los valores actuales y meta de cada una de las causas raíces que tienen como herramienta de mejora el desarrollo de la Cadena de Markov, en donde la cusa raíz N° 04: Fallas eléctricas se cuenta con valor actual de 10% y con la herramienta se logra llegar al 80%, como también se puede apreciar en las causas N° 12 y 05 que la herramienta ayuda significativamente en el incremento de los indicadores para el beneficio de Fabián Express S.A.C.

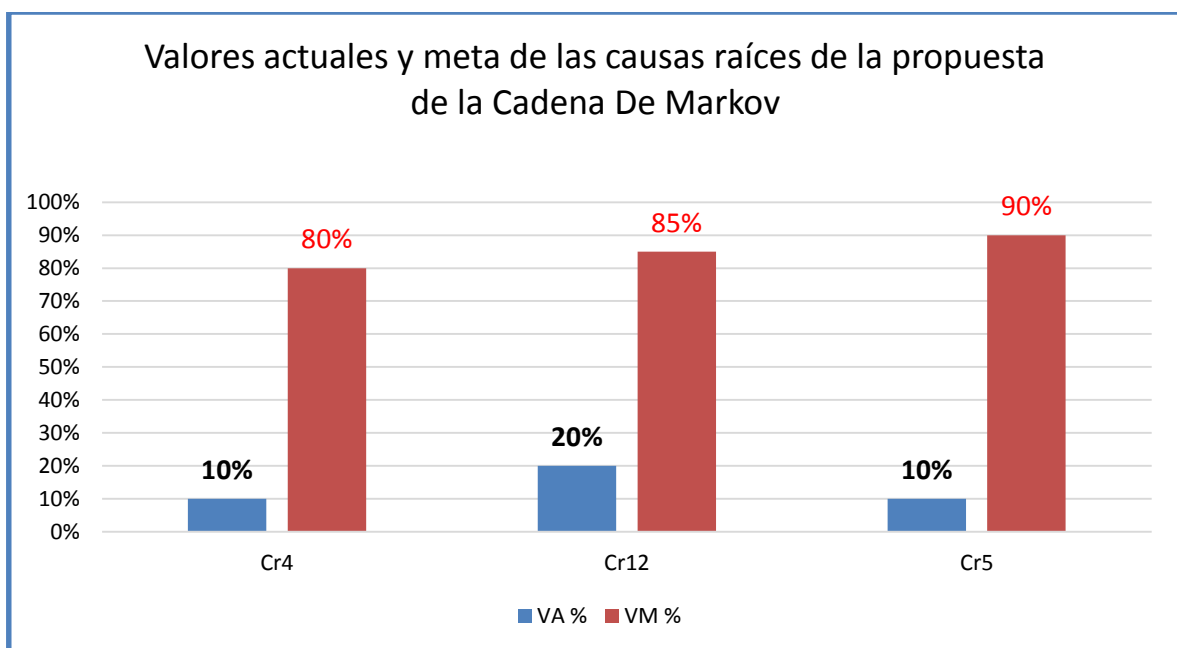


Figura 9: Valores actuales y meta de las causas raíces de la propuesta de la Cadena De Markov

Fuente: Elaboración Propia.

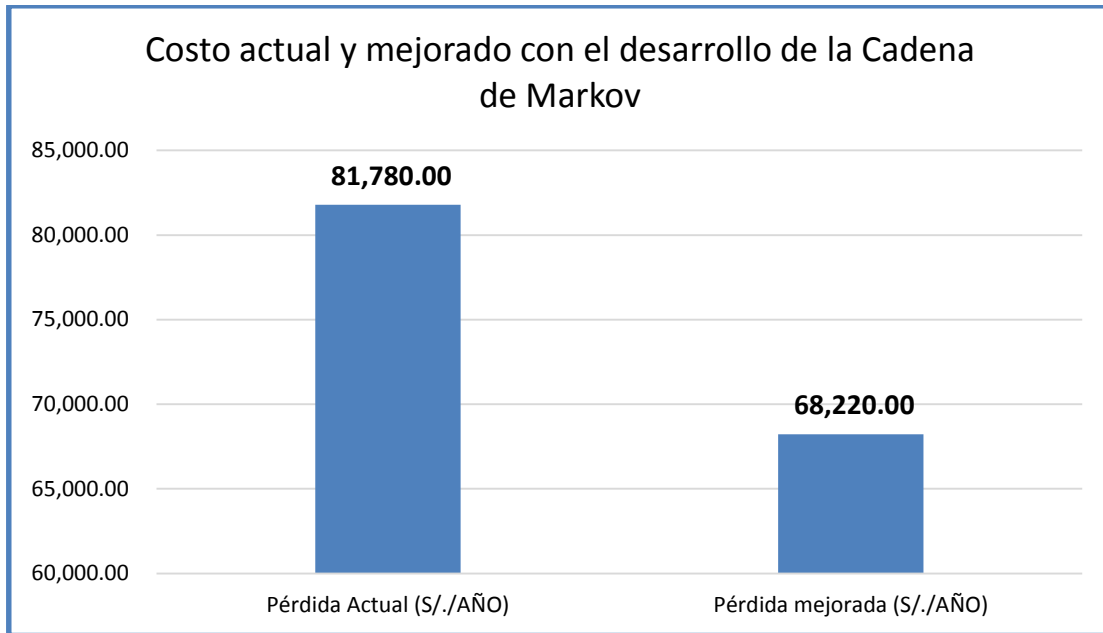


Figura 10 : Costo actual y mejorado con el desarrollo de la Cadena de Markov

Fuente: Elaboración Propia.

6.2.2. Propuesta del Kardex

La figura N° 12 nos muestra los valores actuales de la causas raíces que tienen como herramienta de Kardex, como se puede ver hay una causa que tienen valor actual de 0% esta es: Falta de control de repuestos por ausencia de formatos que con el desarrollo de la propuesta este valoren asciende a 100%. Del mismo modo la causa N° 08 de tener 10% actualmente llega a 90% y la causa N° 11 de 10% llega a 85%, evidenciando el beneficio de esta herramienta en la empresa Fabián Express S.A.C.

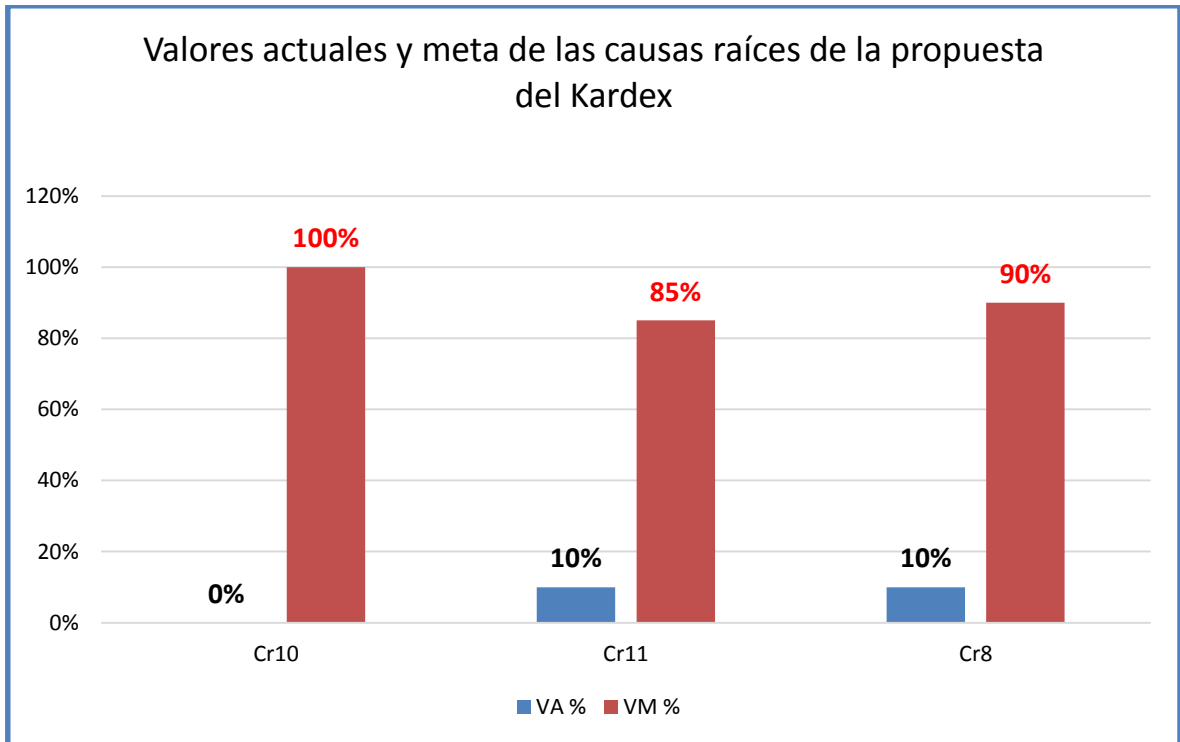


Figura 11: Valores actuales y meta de las causas raíces de la propuesta del Kardex

Fuente: Elaboración Propia.

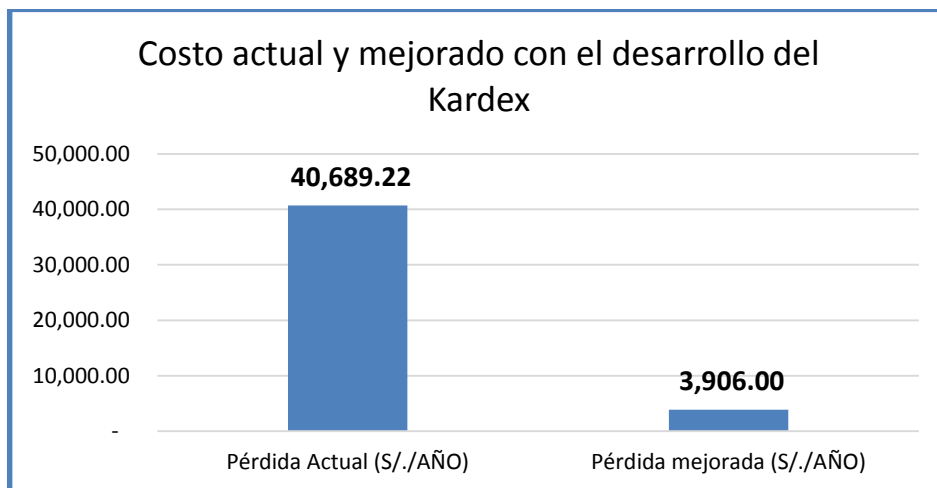


Figura 12: Costo actual y mejorado con el desarrollo del Kardex

Fuente: Elaboración Propia.

La herramienta del Kardex en conjunto con la Formatería que planteamos permitirá llevar el registro controlado de los repuestos y corroborar las atenciones con los vales manuales que se deben entregar al momento del despacho del repuesto, por ejemplo Valenzuela (2016) afirma que la implementación del Kardex permite contar con información exacta que será útil para aprovisionamiento de productos sin exceso y sin faltante, así mismo el ahorro y reducción de tiempo y costo, durante el proceso de aprovisionamiento como también para preparar los planes de aprovisionamiento de acuerdo con la planificación de producción y ventas. Es así que podemos demostrar con la Figura N° 11 el beneficio de esta propuesta, en donde el costo actual es de S/. 40,689.22 mientras que el costo mejorado sería de S/. 3,906.00 maximizando así los recursos económicos de la empresa.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La propuesta de mejora en las áreas de Logística y Mantenimiento dieron un impacto positivo en la empresa Fabián Express S.A.C.

Conclusiones

- Son 6 causas raíz que están ocasionando sobrecostos en la empresa Fabián Express S.A.C a la que hace referencia este trabajo aplicativo. Tres de ellas se encuentran en el área de Logística; tres en el área de Mantenimiento.
- Los sobrecostos que están generando las 6 causas priorizadas son de S/. 40,689.22 para el área de Logística y S/. 81,780.00 para el área de Mantenimiento de forma anual.
- Se desarrolló la herramienta de la Cadena de Markov, con la cual se logró obtener beneficios económicos y reducir los costos perdidos de S/. 81,780.00 a S/. 68,220.00, logrando un ahorro de S/. 13,560.00 soles al año.
- Se desarrolló la herramienta del formato de Kardex tanto en físico como en Microsoft Excel, la cual permite el control de los repuestos de los almacenes, para así disminuir la cantidad de repuestos perdidos, como también conocer el stock actualizado a la fecha de cada tipo de repuestos. Se logró pasar del costo perdido de S/. 40,689.22 a S/. 3,906.00, lo que genera un ahorro de S/. 36,783.00 soles al año.
- Se evaluó la propuesta de implementación a través del VAN, TIR y B/C, obteniendo valores de S/. 29,750.80, 70.14% y 1.2 para cada indicador respectivamente. Lo cual se concluye que esta propuesta es factible y rentable para la empresa de Fabián Express S.A.C.

Recomendaciones

- Se recomienda realizar las inversiones respectivas en cada una de las áreas de este trabajo aplicativo: Logística y Mantenimiento con la finalidad de lograr la disminución de los costos perdidos actualmente.
- Es de mucha prioridad la implementación del modelo de las Cadenas de Markov y Kardex en la empresa para la óptima programación de los servicios de transporte de carga y requerimiento de repuestos, evitando así los robos, desabastecimientos, planificaciones erróneas, etc.

Bibliografía

GORDON, Patrick. 1997. Cadenas finitas de Markov y sus aplicaciones. Madrid : Hispano Europea, 1997.

Hiller, Liberman. 2002. Investigación de Operaciones. séptima. México : Mc Graw Hill, 2002.

INFOAMÉRICA.ORG. [En línea] [Citado el: 22 de 02 de 2017.]

Ladeta, Juan Manuel Izar. Fundamentos de Investgacion de Operacione para Administracion. s.l. : Universidad Potosina. ISBN 9687674318.9789687674315.

Krajewski, L. J., & Ritzman, L. P. (2005). Administración de operaciones: estrategia y análisis. Pearson educación

WINSTON, Wayne. 2005. *Investigación Operativa - Aplicaciones y Algoritmos.* México : Thompson, 2005.

Valenzuela Moreira, J. S. (2016). Modelo de sistema contable y control de inventario en la compañía de taxis TRANSPLAYASA SA. en la ciudad de Santo Domingo.

ANEXOS

Anexo 1: Costos operativos de Fabián Express S.A.C.

Tabla 1 Costos Operativos y margen de utilidad

| ITEM | DESCRIPCION DEL SERVICIO | VALOR VENTA APROX.(S/.) | VALOR VENTA PROMEDIO APROX.(S/.) |
|------|--|-------------------------|----------------------------------|
| A | SERVICIO REALIZADO EN TRUJILLO Y ALREDEDORES, HUANCHACO, VIRU, CHAO, BUENOS AIRES | 400-700 | 550 |
| B | SERVICIO DE PROVINCIA EN PORV. O DEPARTAMENTO POR LO GENERAL SE ABARCA CHIMBOTE, CHICLAYO, OLMOS , PIURA | 1500-2500 | 2000 |

| ITEM | GASTOS OPERATIVOS FIJOS | COSTO(S/.) |
|------|----------------------------------|------------|
| 1 | COSTO DIARIO DE MANO DE OBRA | 57.53 |
| 2 | ASIGNACION DIARIA DE A CONDUCTOR | 25.00 |
| | | 82.53 |

| ITEM | GASTOS OPERATIVOS VARIABLE | COSTO(S/.) |
|------|--|------------|
| 1 | COMBUSTIBLE SEGÚN KM (APROX - SERV. LOCAL) | 120.00 |
| 2 | COMBUSTIBLE SEGÚN KM (APROX - SERV. INTERPROV.) + PEAJES | 500 -1330 |
| | | |

| ITEM | COSSTOS OPERATIVOS DE SERVICIO TRANSPORTE LOCAL | COSTO(S/.) |
|------|---|------------|
| 1 | COSTOS OPERATIVO DE UN SERVICIO LOCAL | 202.53 |
| 2 | MARGEN DE UTILIDAD | 347.47 |
| 3 | VALOR VENTA | 550.00 |
| 4 | IGV | 99.00 |
| 5 | PRECIO DE VENTA | 649.00 |

| ITEM | COSSTOS OPERATIVOS DE SERVICIO TRANSPORTE INTERPROVINCIAL | COSTO(S/.) |
|------|---|------------|
| 1 | COSTOS OPERATIVO DE UN SERVICIO INTERPROVINCIAL | 997.53 |
| 2 | MARGEN DE UTILIDAD | 1002.47 |
| 3 | VALOR VENTA | 2000.00 |
| 4 | IGV | 360.00 |
| 5 | PRECIO DE VENTA | 2360.00 |

LOS COSTOS NO SE DAN POR HORA, ES POR EL SERVICIO DE CARGA Y LA CARGA NO ES IGUAL PUEDE SER PESO NETO (TONELADAS) O POR VOLUMEN EJM., 01 TRAYLE CON PARIHUELAS DE MADERA (500 UNID) PESO APROX DE 10 TONELADAS,

Tabla 2 Servicios e ingresos que se dejan de percibir por averías

| ITEM | MES | SERV. QUE NO SE ATIENDEN | INDICADOR | PROMEDIO DE INGRESOS PERDIDOS TOTALES (S/) |
|-------|------------|--------------------------|------------|--|
| 1 | ENERO | 12 | TEMP. ALTA | 13,560.00 |
| 2 | FEBRERO | 9 | TEMP. ALTA | 10,170.00 |
| 3 | MARZO | 7 | TEM. BAJA | 7,910.00 |
| 4 | ABRIL | 4 | TEM. BAJA | 4,520.00 |
| 5 | MAYO | 5 | TEM. BAJA | 5,650.00 |
| 6 | JUNIO | 3 | TEM. MED | 3,390.00 |
| 7 | JULIO | 9 | TEM. ALTA | 10,170.00 |
| 8 | AGOSTO | 4 | TEM. MED | 4,520.00 |
| 9 | SEPTIEMBRE | 6 | TEM. BAJA | 7,200.00 |
| 10 | OCTUBRE | 5 | TEM. MED | 5,650.00 |
| 11 | NOVIEMBRE | 8 | TEMP. ALTA | 9,040.00 |
| 12 | DICIEMBRE | 6 | TEMP. ALTA | 6,780.00 |
| Total | | 78 | | 81,780.00 |

Anexo 2: Descripción de fallas de imprevistas y unidades de transporte

| ITEM | DESCRIPCION DE FALLAS IMPREVISTAS | POSIBLES CAUSAS |
|------|---|---|
| 1 | ROPTURA DE FAJAS | POR DESGASTE O DEMASIADO USO, NO HUBO REVISION ANTES DE SALIR A SERVICIO. |
| 2 | QUEMADO DE FUSIBLE | POR MAL AMPERAJE |
| 3 | FALLAS ELECTRICAS(LUCES, CABLES) | CORTO CIRCUITOS POR ALGUN MAL CONTACTO, O AMPERAJE INESTABLE |
| 4 | FALLA DE BOMBA DE AGUA SOBRECALENTAMIENTO | MAL PROCESO DE ENFRIAMIENTO DEL RADIADOR POR OBSTRUCCION O FAJA ROTAS. |
| 5 | FILTROS DE COMBUSTIBLE | AHOGAMIENTO DE MOTOR, SUCIEDAD EN EL COMBUSTIBLE |
| 6 | PROBLEMAS HIDRAHULICOS | FRENOS, CAÑERIAS DIVERSAS |
| 7 | ROPTURA DE PERNOS, O CHASIS POR MAL ESTADO DE CARRETERA | SOBRE PESO, MAL ESTADO DE LAS CARRETERAS |

Cantidad de unidades

| ITEM | ASIGNACION DE SERVICIO | UNIDADES DE TRANSPORTE (CANTIDAD) | CAPACIDAD CARGA (TON) |
|------|----------------------------|------------------------------------|-----------------------|
| A | TRANSPORTE LOCAL | 12 | 30 |
| B | TRANSPORTE INTERPROVINCIAL | 8 | 30 |

Anexo 3: Listado de repuestos y sus costos

Tabla 1: Listado de repuestos y su costo

| TIPO DE REPUESTO | DETALLE REPUESTO | PRECIO DE COMPRA |
|---------------------|--------------------------------------|------------------------|
| R8 | CINTA AISLANTE 3M* | 4.10 |
| R10 | BORNE DE BATERIA (-) | 4.50 |
| R11 | BORNE DE BATERIA (+) | 4.50 |
| R12 | RELAY 24VOLTIOS | 25.50 |
| R13 | TERMINAL NO AISL HEMBRA MEDIANO | 7.60 |
| R16 | CABLE AUTOMOTRIZ #14 X 10 MT. | 13.00 |
| R20 | ESTATOR DE ALTERNADOR | 48.60 |
| R28 | CABLE ROJO 14 AWG X 10 MT | 18.00 |
| R29 | CABLE NEGRO 14 AWG X 10 MT | 18.00 |
| R30 | CABLE VERDE 14 AWG X 10 MT | 18.00 |
| R33 | BATERIA 12 V 11 PLACAS GENERICA | 390.00 |
| R34 | BATERIA 12 V ETNA 12 PLACAS | 620.00 |
| R49 | BATERIA (BORNE INVERTIDO) | 435.00 |
| R50 | BATERIA 12V 25P (INVERTIDO) | 490.00 |
| R52 | SELENOIDE ARRANCADOR | 79.60 |
| R53 | SELENOIDE RELE ARRANCADOR - SNP.PE | 87.90 |
| R78 | INTERRUPTOR PRINCIPAL LUZ | 22.00 |
| R104 | CABLES PASE CORRIENTE X 10 MT (UNID) | 110.00 |
| R105 | COCODRILO PARA CABLE DE BRONCE | 15.00 |
| R1 | ACOPLE RAPIDO 10MM | 12.50 |
| R2 | ACOPLE RAPIDO 6MM | 10.00 |
| R3 | ACOPLE RAPIDO 12MM | 15.00 |
| R4 | ACOPLE RAPIDO 8MM | 9.00 |
| R5 | CINTILLO DE AMARRE 4.8X300MM | 18.30 |
| R6 | CINTA DE AMARRE CV-360 | 26.50 |
| R26 | MANGUERA DE COMPRESOR X 10 MT | 22.00 |
| R27 | ABRAZADERA PARA SALIDA COMPRESOR 1" | 4.80 |
| R48 | MOTOR ELECTRICO | 125.00 |
| R55 | TUERCA ACERO 1/4" - HILO FINO | 6.80 |
| R58 | ELEMENTO AIRE (ACTR) | 66.00 |
| R59 | ELEMENTO AIRE (ACTR) -SNP.CL | 72.30 |
| R62 | NIPLE MANGUERA AIRE | 8.50 |
| R68 | CORREA DE VENTILADOR | 91.00 |
| R73 | JGO.REP.MANGUERA DER. | 120.00 |
| R74 | PIVOTE DE MANGUERA | 28.00 |
| R84 | ABRAZADERA MANGUERA | 3.80 |

| | | |
|------|-----------------------------------|---------|
| R87 | TORNILLO 2" X CIENTO | 9.00 |
| R88 | TUERCA M16x1.5 | 5.30 |
| R95 | PTO AIRE | 12.00 |
| R96 | VALVULA SALIDA PTO AIRE | 8.00 |
| R21 | BUJE MUELLE DEL 1.5 | 33.50 |
| R22 | BUJE MUELLE DEL 2.00 | 40.00 |
| R31 | PERNO 4"X 1" | 12.00 |
| R37 | BOCAMASAS DE ARO 10 BIRLOS | 95.00 |
| R38 | ESPARRAGOS O BIRLOS 1/2 | 22.00 |
| R39 | EJE CARRETA MARCA JOST | 920.00 |
| R40 | TORNAMESA MARCA JOST | 450.00 |
| R41 | KING PIN 2" | 220.00 |
| R42 | TEMPLADOR DE CARRETA | 530.00 |
| R43 | KIT DE GANCHO JALADOR TIPO JOST | 765.00 |
| R44 | KIT DE GANCHO JALADOR TIPO KRAMER | 920.00 |
| R46 | MODULO EJE POSTERIOR | 1110.00 |
| R47 | EXTREMO BARRA DIRECCION | 1430.00 |
| R51 | REMACHES BALATA | 3.90 |
| R54 | EXTREMO BARRA DIRECCION | 220.00 |
| R57 | RACOR ANGULAR | 175.00 |
| R60 | RODAJE RUEDA POST INT SNP.PE | 85.00 |
| R61 | RODAM. RODILLOS CONICOS SNP.PE | 165.00 |
| R63 | ANILLO RUEDA LO1113 -FEBI | 4.80 |
| R64 | PERNO DE RUEDA | 9.50 |
| R65 | PERNO CENTRAL MUELLE | 12.00 |
| R69 | JUNTA EJE TRASERO | 37.00 |
| R70 | JUNTA EJE TRASERO S PIN | 42.00 |
| R71 | PERNO RUEDA 22x110MM -SNP.PE | 16.00 |
| R77 | EMPAQUE EJE DELANTERO | 78.00 |
| R79 | BRAZO TEMPLADOR | 290.00 |
| R94 | ARANDELA | 1.80 |
| R107 | ANILLO ESFERICO RUEDA EXT | 2.20 |
| R108 | ANILLO DE RUEDA 22 M/M | 5.20 |
| R109 | ARO TUBULAR | 720.00 |
| R112 | TUERCA PERNO CENTRAL | 4.70 |
| R15 | MANGUERA CORRUGADA 1/4 x 5mt | 27.00 |
| R35 | VENTILADORES PLASTICO VOLVO FH | 38.00 |
| R36 | BALANCINES | 45.00 |
| R75 | TUBO FLEXIBLE RETORNO | 31.30 |
| R76 | RADIADOR INTERCOOLER | 1980.00 |
| R7 | AFLOJATODO LUBRICANTE 3M #08898 | 12.30 |
| R9 | CINTA TEFLON | 3.80 |
| R14 | TUERCA DE 6MM | 4.90 |
| R17 | BOMBA COMBUSTIBLE | 390.00 |

| | | |
|------|------------------------------------|---------|
| R18 | RODAJE ARRANCADOR | 74.00 |
| R19 | RODAJE ARRANCADOR POST | 78.60 |
| R23 | FAJA MOTOR 2" | 98.00 |
| R24 | TEMPLADOR FAJA - MOTOR | 121.00 |
| R25 | TURBO HOLFSET PARA VOLVO | 442.00 |
| R32 | TUERCA PERNO 4"X1" | 15.00 |
| R45 | DIAFRAG.CILIN.DELT.30" | 84.60 |
| R56 | INYECTOR COMPLETO | 1380.00 |
| R66 | CARTER ACEITE | 320.00 |
| R67 | FRENO MOTOR | 490.00 |
| R72 | PERNO M 12x1.5x60 | 8.50 |
| R80 | TUERCA 1/8" | 1.80 |
| R81 | ABRAZADERA 16/25. | 6.80 |
| R82 | JUNTA ANULAR | 190.00 |
| R83 | ABRAZADERA 50/70. | 5.60 |
| R85 | PERNO 14x60MM | 8.00 |
| R86 | PERNO M18X1.5x45 | 11.90 |
| R89 | TUERCA 2 1/2" | 4.60 |
| R90 | TORNILLO 14X1.5X50 | 7.10 |
| R91 | ANILLO AL A 24X29 | 3.40 |
| R92 | ANILLO CU A 24X29 | 4.80 |
| R93 | ANILLO AL A 45X52 | 3.90 |
| R97 | PISTON MOTOR VOVLO TD 720 | 98.60 |
| R98 | VALVULA MOTOR VOLVO TD 720 | 110.00 |
| R99 | GUIA DE VALVULA MOTOR VOLVO TD 720 | 183.40 |
| R100 | EMPAQUETADURA MOTOR VOLVO TD 720 | 189.60 |
| R101 | ARBOL DE LEVAS MOTOR TD 720 | 735.00 |
| R102 | POLEA DE LEVA MOTOR VOLVO TD 720 | 280.00 |
| R103 | KIT CADENA DE DISTRIBUCION MOTOR | 840.00 |
| R106 | TUERCA RUEDA TRACTO MAQ | 4.40 |
| R110 | AXR TORNILLO M16X1;5X100 | 5.20 |
| R111 | PERNO M20x1.5x260 | 12.00 |
| R113 | TUERCA M10 C01 | 3.50 |
| R114 | CULATA DE MOTOR - VOLVO N12 | 4850.00 |

Fuente: Transportes Fabián Express S.A.C.

Anexo 4: Desarrollo de la Cadena de Markov para los repuestos en estudio

REPUESTO 2

Tabla 1. Comportamiento de la demanda del repuesto 2, año 2016

| SEMANA | COMPRA | DISPONIB | DEMANDA | VENTA | ESCASEZ | INVENTARIO |
|--------|-------------|----------|---------|-------|-----------|-------------|
| 1 | 50 | 50 | 10 | 10 | 0 | 40 |
| 2 | 10 | 50 | 15 | 15 | 0 | 35 |
| 3 | 13 | 48 | 20 | 20 | 0 | 28 |
| 4 | 18 | 46 | 25 | 25 | 0 | 21 |
| 5 | 23 | 44 | 50 | 44 | 6 | 0 |
| 6 | 38 | 38 | 55 | 38 | 17 | 0 |
| 7 | 53 | 53 | 60 | 53 | 7 | 0 |
| 8 | 58 | 58 | 75 | 58 | 17 | 0 |
| 9 | 68 | 68 | 10 | 10 | 0 | 58 |
| 10 | 43 | 101 | 50 | 50 | 0 | 51 |
| 11 | 30 | 81 | 55 | 55 | 0 | 26 |
| 12 | 53 | 79 | 65 | 65 | 0 | 14 |
| 13 | 60 | 74 | 70 | 70 | 0 | 4 |
| 14 | 68 | 72 | 15 | 15 | 0 | 57 |
| 15 | 43 | 100 | 20 | 20 | 0 | 80 |
| 16 | 18 | 98 | 25 | 25 | 0 | 73 |
| 17 | 23 | 96 | 35 | 35 | 0 | 61 |
| 18 | 30 | 91 | 40 | 40 | 0 | 51 |
| 19 | 38 | 89 | 45 | 45 | 0 | 44 |
| 20 | 43 | 87 | 50 | 50 | 0 | 37 |
| 21 | 48 | 85 | 55 | 55 | 0 | 30 |
| 22 | 53 | 83 | 60 | 60 | 0 | 23 |
| 23 | 58 | 81 | 65 | 65 | 0 | 16 |
| 24 | 63 | 79 | 70 | 70 | 0 | 9 |
| 25 | 68 | 77 | 10 | 10 | 0 | 67 |
| 26 | 40 | 107 | 15 | 15 | 0 | 92 |
| 27 | 13 | 105 | 20 | 20 | 0 | 85 |
| 28 | 18 | 103 | 25 | 25 | 0 | 78 |
| 29 | 23 | 101 | 35 | 35 | 0 | 66 |
| 30 | 30 | 96 | 55 | 55 | 0 | 41 |
| 31 | 45 | 86 | 60 | 60 | 0 | 26 |
| 32 | 58 | 84 | 35 | 35 | 0 | 49 |
| 33 | 48 | 97 | 45 | 45 | 0 | 52 |
| 34 | 40 | 92 | 55 | 55 | 0 | 37 |
| 35 | 50 | 87 | 60 | 60 | 0 | 27 |
| 36 | 58 | 85 | 65 | 65 | 0 | 20 |
| 37 | 63 | 83 | 70 | 70 | 0 | 13 |
| 38 | 68 | 81 | 65 | 65 | 0 | 16 |
| 39 | 68 | 84 | 10 | 10 | 0 | 74 |
| 40 | 38 | 112 | 15 | 15 | 0 | 97 |
| 41 | 13 | 110 | 10 | 10 | 0 | 100 |
| 42 | 13 | 113 | 15 | 15 | 0 | 98 |
| 43 | 13 | 111 | 30 | 30 | 0 | 81 |
| 44 | 23 | 104 | 20 | 20 | 0 | 84 |
| 45 | 25 | 109 | 10 | 10 | 0 | 99 |
| 46 | 15 | 114 | 15 | 15 | 0 | 99 |
| 47 | 13 | 112 | 20 | 20 | 0 | 92 |
| 48 | 18 | 110 | 35 | 35 | 0 | 75 |
| 49 | 28 | 103 | 40 | 40 | 0 | 63 |
| 50 | 38 | 101 | 45 | 45 | 0 | 56 |
| 51 | 43 | 99 | 55 | 55 | 0 | 44 |
| 52 | 50 | 94 | 70 | 70 | 0 | 24 |
| Total | 2022 | | | | 47 | 2513 |

Tabla 2. Elaboración de la matriz con los 13 estados

| | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 10 | | 5 | | | | | | | 1 | | | | | 6 |
| 15 | 1 | | 4 | | 1 | | | | | | | | | 6 |
| 20 | 1 | | | 3 | | 1 | | | | | | | | 5 |
| 25 | | | | | | 2 | | | 1 | | | | | 3 |
| 30 | | | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| 35 | | | | | | | 2 | 1 | | 1 | | | | 4 |
| 40 | | | | | | | | 2 | | | | | | 2 |
| 45 | | | | | | | | | 1 | 2 | | | | 3 |
| 50 | | | | | | | | | | 3 | | | | 3 |
| 55 | | | | | | | | | | | 4 | 1 | 1 | 6 |
| 60 | | | | | | 1 | | | | | | 2 | 1 | 4 |
| 65 | 1 | | | | | | | | | | | | 3 | 4 |
| 70 | 2 | 1 | | | | | | | | | | 1 | | 4 |
| | | | | | | | | | | | | | | 51 |

Tabla 3. Elaboración de la Matriz Ergodica

| | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 10 | 0.000 | 0.833 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.167 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 15 | 0.167 | 0.000 | 0.667 | 0.000 | 0.167 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 20 | 0.200 | 0.000 | 0.000 | 0.600 | 0.000 | 0.200 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 25 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.667 | 0.000 | 0.000 | 0.333 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 30 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 35 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.500 | 0.250 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 40 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 45 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.333 | 0.667 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 50 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 55 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.667 | 0.167 | 0.167 |
| 60 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.500 | 0.250 |
| 65 | 0.250 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.750 |
| 70 | 0.500 | 0.250 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 |

Matriz de Estado estable

Tabla 4. Matriz con $m=13$ y $n=5$ para el repuesto 2

| | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 10 | 0.109 | 0.116 | 0.097 | 0.058 | 0.019 | 0.077 | 0.038 | 0.057 | 0.057 | 0.114 | 0.076 | 0.082 | 0.100 |
| 15 | 0.109 | 0.116 | 0.097 | 0.058 | 0.019 | 0.077 | 0.038 | 0.057 | 0.057 | 0.114 | 0.076 | 0.082 | 0.099 |
| 20 | 0.109 | 0.116 | 0.097 | 0.058 | 0.019 | 0.077 | 0.039 | 0.058 | 0.057 | 0.114 | 0.076 | 0.082 | 0.099 |
| 25 | 0.109 | 0.115 | 0.096 | 0.058 | 0.019 | 0.077 | 0.039 | 0.058 | 0.057 | 0.115 | 0.076 | 0.082 | 0.099 |
| 30 | 0.109 | 0.116 | 0.097 | 0.058 | 0.019 | 0.077 | 0.038 | 0.058 | 0.057 | 0.114 | 0.076 | 0.082 | 0.099 |
| 35 | 0.109 | 0.115 | 0.096 | 0.058 | 0.019 | 0.077 | 0.039 | 0.058 | 0.057 | 0.115 | 0.076 | 0.082 | 0.099 |
| 40 | 0.108 | 0.115 | 0.096 | 0.058 | 0.019 | 0.077 | 0.039 | 0.058 | 0.057 | 0.115 | 0.076 | 0.082 | 0.099 |
| 45 | 0.109 | 0.115 | 0.096 | 0.058 | 0.019 | 0.077 | 0.039 | 0.058 | 0.057 | 0.115 | 0.077 | 0.082 | 0.100 |
| 50 | 0.109 | 0.115 | 0.096 | 0.058 | 0.019 | 0.077 | 0.039 | 0.058 | 0.057 | 0.115 | 0.077 | 0.082 | 0.100 |
| 55 | 0.109 | 0.116 | 0.096 | 0.058 | 0.019 | 0.077 | 0.038 | 0.058 | 0.057 | 0.114 | 0.076 | 0.082 | 0.100 |
| 60 | 0.109 | 0.116 | 0.096 | 0.058 | 0.019 | 0.077 | 0.038 | 0.058 | 0.057 | 0.114 | 0.076 | 0.082 | 0.100 |
| 65 | 0.109 | 0.116 | 0.096 | 0.058 | 0.019 | 0.077 | 0.038 | 0.058 | 0.057 | 0.114 | 0.076 | 0.082 | 0.100 |
| 70 | 0.109 | 0.116 | 0.096 | 0.058 | 0.019 | 0.077 | 0.038 | 0.057 | 0.057 | 0.114 | 0.076 | 0.082 | 0.100 |

Tabla 5. Simulación con una demanda promedio de 40 según Markov para el
respuesta 2

| SEMANA | COMPRA | DISPONIBLE | DEMANDA | VENTA | ESCASEZ | INVENTARIO |
|--------|--------|------------|---------|-------|---------|------------|
| 1 | 50 | 50 | 40 | 40 | 0 | 10 |
| 2 | 10 | 20 | 40 | 20 | 20 | 0 |
| 3 | 13 | 13 | 40 | 13 | 27 | 0 |
| 4 | 18 | 18 | 40 | 18 | 22 | 0 |
| 5 | 23 | 23 | 40 | 23 | 17 | 0 |
| 6 | 38 | 38 | 40 | 38 | 2 | 0 |
| 7 | 53 | 53 | 40 | 40 | 0 | 13 |
| 8 | 58 | 71 | 40 | 40 | 0 | 18 |
| 9 | 68 | 86 | 40 | 40 | 0 | 28 |
| 10 | 43 | 71 | 40 | 40 | 0 | 3 |
| 11 | 30 | 33 | 40 | 33 | 7 | 0 |
| 12 | 53 | 53 | 40 | 40 | 0 | 13 |
| 13 | 60 | 73 | 40 | 40 | 0 | 20 |
| 14 | 68 | 88 | 40 | 40 | 0 | 28 |
| 15 | 43 | 71 | 40 | 40 | 0 | 3 |
| 16 | 18 | 21 | 40 | 21 | 19 | 0 |
| 17 | 23 | 23 | 40 | 23 | 17 | 0 |
| 18 | 30 | 30 | 40 | 30 | 10 | 0 |
| 19 | 38 | 38 | 40 | 38 | 2 | 0 |
| 20 | 43 | 43 | 40 | 40 | 0 | 3 |
| 21 | 48 | 51 | 40 | 40 | 0 | 8 |
| 22 | 53 | 61 | 40 | 40 | 0 | 13 |
| 23 | 58 | 71 | 40 | 40 | 0 | 18 |
| 24 | 63 | 81 | 40 | 40 | 0 | 23 |
| 25 | 68 | 91 | 40 | 40 | 0 | 28 |
| 26 | 40 | 68 | 40 | 40 | 0 | 0 |
| 27 | 13 | 13 | 40 | 13 | 27 | 0 |
| 28 | 18 | 18 | 40 | 18 | 22 | 0 |
| 29 | 23 | 23 | 40 | 23 | 17 | 0 |
| 30 | 30 | 30 | 40 | 30 | 10 | 0 |
| 31 | 45 | 45 | 40 | 40 | 0 | 5 |
| 32 | 58 | 63 | 40 | 40 | 0 | 18 |
| 33 | 48 | 66 | 40 | 40 | 0 | 8 |
| 34 | 40 | 48 | 40 | 40 | 0 | 0 |
| 35 | 50 | 50 | 40 | 40 | 0 | 10 |
| 36 | 58 | 68 | 40 | 40 | 0 | 18 |
| 37 | 63 | 81 | 40 | 40 | 0 | 23 |
| 38 | 68 | 91 | 40 | 40 | 0 | 28 |
| 39 | 68 | 96 | 40 | 40 | 0 | 28 |
| 40 | 38 | 66 | 40 | 40 | 0 | 0 |
| 41 | 13 | 13 | 40 | 13 | 27 | 0 |
| 42 | 13 | 13 | 40 | 13 | 27 | 0 |
| 43 | 13 | 13 | 40 | 13 | 27 | 0 |
| 44 | 23 | 23 | 40 | 23 | 17 | 0 |
| 45 | 25 | 25 | 40 | 25 | 15 | 0 |
| 46 | 15 | 15 | 40 | 15 | 25 | 0 |
| 47 | 13 | 13 | 40 | 13 | 27 | 0 |
| 48 | 18 | 18 | 40 | 18 | 22 | 0 |
| 49 | 28 | 28 | 40 | 28 | 12 | 0 |
| 50 | 38 | 38 | 40 | 38 | 2 | 0 |
| 51 | 43 | 43 | 40 | 40 | 0 | 3 |
| 52 | 50 | 53 | 40 | 40 | 0 | 10 |
| Total | 2022 | | 2080 | | 420 | 380 |

Tabla 6. Comparación de los costos usando los tres modelos presentados

| Actualmente | Propuesta pero con Markov | Modelo EOQ con faltantes con el dato de Markov |
|-------------|---------------------------|--|
| 88,560.38 | 89,504.00 | 88,324.89 |

REPUESTO 3

Tabla 1. Comportamiento de la demanda del repuesto 3, año 2016

| SEMANA | COMPRA | DISPONIBL | DEMANDA | VENTA | ESCASEZ | INVENTARIC |
|--------|------------|-----------|---------|-------|----------|-------------|
| 1 | 60 | 60 | 1 | 1 | 0 | 59 |
| 2 | 1 | 60 | 7 | 7 | 0 | 53 |
| 3 | 4 | 57 | 13 | 13 | 0 | 44 |
| 4 | 10 | 54 | 19 | 19 | 0 | 35 |
| 5 | 16 | 51 | 25 | 25 | 0 | 26 |
| 6 | 22 | 48 | 6 | 6 | 0 | 42 |
| 7 | 16 | 58 | 12 | 12 | 0 | 46 |
| 8 | 9 | 55 | 18 | 18 | 0 | 37 |
| 9 | 15 | 52 | 24 | 24 | 0 | 28 |
| 10 | 21 | 49 | 30 | 30 | 0 | 19 |
| 11 | 27 | 46 | 11 | 11 | 0 | 35 |
| 12 | 21 | 56 | 17 | 17 | 0 | 39 |
| 13 | 14 | 53 | 23 | 23 | 0 | 30 |
| 14 | 20 | 50 | 1 | 1 | 0 | 49 |
| 15 | 12 | 61 | 7 | 7 | 0 | 54 |
| 16 | 4 | 58 | 13 | 13 | 0 | 45 |
| 17 | 10 | 55 | 13 | 13 | 0 | 42 |
| 18 | 13 | 55 | 19 | 19 | 0 | 36 |
| 19 | 16 | 52 | 19 | 19 | 0 | 33 |
| 20 | 19 | 52 | 25 | 25 | 0 | 27 |
| 21 | 22 | 49 | 25 | 25 | 0 | 24 |
| 22 | 25 | 49 | 6 | 6 | 0 | 43 |
| 23 | 16 | 59 | 12 | 12 | 0 | 47 |
| 24 | 9 | 56 | 18 | 18 | 0 | 38 |
| 25 | 15 | 53 | 24 | 24 | 0 | 29 |
| 26 | 21 | 50 | 30 | 30 | 0 | 20 |
| 27 | 27 | 47 | 11 | 11 | 0 | 36 |
| 28 | 21 | 57 | 17 | 17 | 0 | 40 |
| 29 | 14 | 54 | 23 | 23 | 0 | 31 |
| 30 | 20 | 51 | 1 | 1 | 0 | 50 |
| 31 | 12 | 62 | 7 | 7 | 0 | 55 |
| 32 | 4 | 59 | 13 | 13 | 0 | 46 |
| 33 | 10 | 56 | 19 | 19 | 0 | 37 |
| 34 | 16 | 53 | 25 | 25 | 0 | 28 |
| 35 | 22 | 50 | 6 | 6 | 0 | 44 |
| 36 | 16 | 60 | 12 | 12 | 0 | 48 |
| 37 | 9 | 57 | 18 | 18 | 0 | 39 |
| 38 | 15 | 54 | 24 | 24 | 0 | 30 |
| 39 | 21 | 51 | 30 | 30 | 0 | 21 |
| 40 | 27 | 48 | 11 | 11 | 0 | 37 |
| 41 | 21 | 58 | 17 | 17 | 0 | 41 |
| 42 | 14 | 55 | 23 | 23 | 0 | 32 |
| 43 | 20 | 52 | 1 | 1 | 0 | 51 |
| 44 | 12 | 63 | 7 | 7 | 0 | 56 |
| 45 | 4 | 60 | 13 | 13 | 0 | 47 |
| 46 | 10 | 57 | 19 | 19 | 0 | 38 |
| 47 | 16 | 54 | 25 | 25 | 0 | 29 |
| 48 | 22 | 51 | 6 | 6 | 0 | 45 |
| 49 | 16 | 61 | 12 | 12 | 0 | 49 |
| 50 | 9 | 58 | 18 | 18 | 0 | 40 |
| 51 | 15 | 55 | 24 | 24 | 0 | 31 |
| 52 | 21 | 52 | 30 | 30 | 0 | 22 |
| Total | 852 | | | | 0 | 2003 |

Tabla 2. Elaboración de la matriz con los 13 estados

| | 1 | 6 | 7 | 11 | 12 | 13 | 17 | 18 | 19 | 23 | 24 | 25 | 30 | | |
|----|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|----|
| 1 | | | 4 | | | | | | | | | | | | 4 |
| 6 | | | | | 4 | | | | | | | | | | 4 |
| 7 | | | | | | 4 | | | | | | | | | 4 |
| 11 | | | | | | | 3 | | | | | | | | 3 |
| 12 | | | | | | | | 4 | | | | | | | 4 |
| 13 | | | | | | 1 | | | 4 | | | | | | 5 |
| 17 | | | | | | | | | | 3 | | | | | 3 |
| 18 | | | | | | | | | | | 4 | | | | 4 |
| 19 | | | | | | | | | 1 | | | 4 | | | 5 |
| 23 | 3 | | | | | | | | | | | | | | 3 |
| 24 | | | | | | | | | | | | | 4 | | 4 |
| 25 | | 4 | | | | | | | | | | 1 | | | 5 |
| 30 | | | | 3 | | | | | | | | | | | 3 |
| | | | | | | | | | | | | | | | 51 |

Tabla 3. Elaboración de la Matriz Ergodica

| | 1 | 6 | 7 | 11 | 12 | 13 | 17 | 18 | 19 | 23 | 24 | 25 | 30 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 13 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 0.00 | 0.00 | 0.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 17 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 18 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 |
| 19 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 0.00 | 0.00 | 0.80 | 0.00 |
| 23 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 24 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 |
| 25 | 0.00 | 0.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 0.00 |
| 30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Matriz de Estado estable

Tabla 4. Matriz con m=13 y n=10 para el repuesto 3

| | 1 | 6 | 7 | 11 | 12 | 13 | 17 | 18 | 19 | 23 | 24 | 25 | 30 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 |
| 6 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 |
| 7 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 |
| 11 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 |
| 12 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 |
| 13 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 |
| 17 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 |
| 18 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 |
| 19 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 |
| 23 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 |
| 24 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 |
| 25 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 |
| 30 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 | 0.073 | 0.091 | 0.073 |

Tabla 5. Simulación con una demanda promedio de 17 según Markov para el
respuesta 3

| SEMANA | COMPRA | DISPONIBLE | DEMANDA | VENTA | ESCASEZ | INVENTARIO |
|--------|--------|------------|---------|-------|---------|------------|
| 1 | 40 | 40 | 17 | 17 | 0 | 23 |
| 2 | 1 | 24 | 17 | 17 | 0 | 0 |
| 3 | 4 | 4 | 17 | 4 | 13 | 0 |
| 4 | 10 | 10 | 17 | 10 | 7 | 0 |
| 5 | 16 | 16 | 17 | 16 | 1 | 0 |
| 6 | 22 | 22 | 17 | 17 | 0 | 5 |
| 7 | 16 | 21 | 17 | 17 | 0 | 0 |
| 8 | 9 | 9 | 17 | 9 | 8 | 0 |
| 9 | 15 | 15 | 17 | 15 | 2 | 0 |
| 10 | 21 | 21 | 17 | 17 | 0 | 4 |
| 11 | 27 | 31 | 17 | 17 | 0 | 10 |
| 12 | 21 | 31 | 17 | 17 | 0 | 4 |
| 13 | 14 | 18 | 17 | 17 | 0 | 0 |
| 14 | 20 | 20 | 17 | 17 | 0 | 3 |
| 15 | 12 | 15 | 17 | 15 | 2 | 0 |
| 16 | 4 | 4 | 17 | 4 | 13 | 0 |
| 17 | 10 | 10 | 17 | 10 | 7 | 0 |
| 18 | 13 | 13 | 17 | 13 | 4 | 0 |
| 19 | 16 | 16 | 17 | 16 | 1 | 0 |
| 20 | 19 | 19 | 17 | 17 | 0 | 2 |
| 21 | 22 | 24 | 17 | 17 | 0 | 5 |
| 22 | 25 | 30 | 17 | 17 | 0 | 8 |
| 23 | 16 | 24 | 17 | 17 | 0 | 0 |
| 24 | 9 | 9 | 17 | 9 | 8 | 0 |
| 25 | 15 | 15 | 17 | 15 | 2 | 0 |
| 26 | 21 | 21 | 17 | 17 | 0 | 4 |
| 27 | 27 | 31 | 17 | 17 | 0 | 10 |
| 28 | 21 | 31 | 17 | 17 | 0 | 4 |
| 29 | 14 | 18 | 17 | 17 | 0 | 0 |
| 30 | 20 | 20 | 17 | 17 | 0 | 3 |
| 31 | 12 | 15 | 17 | 15 | 2 | 0 |
| 32 | 4 | 4 | 17 | 4 | 13 | 0 |
| 33 | 10 | 10 | 17 | 10 | 7 | 0 |
| 34 | 16 | 16 | 17 | 16 | 1 | 0 |
| 35 | 22 | 22 | 17 | 17 | 0 | 5 |
| 36 | 16 | 21 | 17 | 17 | 0 | 0 |
| 37 | 9 | 9 | 17 | 9 | 8 | 0 |
| 38 | 15 | 15 | 17 | 15 | 2 | 0 |
| 39 | 21 | 21 | 17 | 17 | 0 | 4 |
| 40 | 27 | 31 | 17 | 17 | 0 | 10 |
| 41 | 21 | 31 | 17 | 17 | 0 | 4 |
| 42 | 14 | 18 | 17 | 17 | 0 | 0 |
| 43 | 20 | 20 | 17 | 17 | 0 | 3 |
| 44 | 12 | 15 | 17 | 15 | 2 | 0 |
| 45 | 4 | 4 | 17 | 4 | 13 | 0 |
| 46 | 10 | 10 | 17 | 10 | 7 | 0 |
| 47 | 16 | 16 | 17 | 16 | 1 | 0 |
| 48 | 22 | 22 | 17 | 17 | 0 | 5 |
| 49 | 16 | 21 | 17 | 17 | 0 | 0 |
| 50 | 9 | 9 | 17 | 9 | 8 | 0 |
| 51 | 15 | 15 | 17 | 15 | 2 | 0 |
| 52 | 21 | 21 | 17 | 17 | 0 | 4 |
| Total | 832 | | 884 | | 134 | 120 |

Tabla 6. Comparación de los costos usando los tres modelos presentados

| Actualmente | Propuesta pero con Markov | Modelo EOQ con faltantes con el dato de Markov |
|-------------|---------------------------|--|
| 26,450.61 | 25,572.40 | 26,190.24 |

REPUESTO 4

Tabla 1. Comportamiento de la demanda del repuesto 4, año 2016

| SEMANA | COMPR | DISPONIBL | DEMANE | VENTA | ESCASE | INVENTARIC |
|--------|-------|-----------|--------|-------|--------|------------|
| 1 | 54 | 54 | 25 | 25 | 0 | 29 |
| 2 | 25 | 54 | 7 | 7 | 0 | 47 |
| 3 | 16 | 63 | 8 | 8 | 0 | 55 |
| 4 | 8 | 63 | 12 | 12 | 0 | 51 |
| 5 | 10 | 61 | 13 | 13 | 0 | 48 |
| 6 | 13 | 61 | 14 | 14 | 0 | 47 |
| 7 | 14 | 61 | 18 | 18 | 0 | 43 |
| 8 | 16 | 59 | 19 | 19 | 0 | 40 |
| 9 | 19 | 59 | 20 | 20 | 0 | 39 |
| 10 | 20 | 59 | 24 | 24 | 0 | 35 |
| 11 | 22 | 57 | 25 | 25 | 0 | 32 |
| 12 | 25 | 57 | 26 | 26 | 0 | 31 |
| 13 | 26 | 57 | 31 | 31 | 0 | 26 |
| 14 | 29 | 55 | 2 | 2 | 0 | 53 |
| 15 | 17 | 70 | 7 | 7 | 0 | 63 |
| 16 | 5 | 68 | 18 | 18 | 0 | 50 |
| 17 | 13 | 63 | 12 | 12 | 0 | 51 |
| 18 | 15 | 66 | 13 | 13 | 0 | 53 |
| 19 | 13 | 66 | 14 | 14 | 0 | 52 |
| 20 | 14 | 66 | 18 | 18 | 0 | 48 |
| 21 | 16 | 64 | 19 | 19 | 0 | 45 |
| 22 | 19 | 64 | 20 | 20 | 0 | 44 |
| 23 | 20 | 64 | 24 | 24 | 0 | 40 |
| 24 | 22 | 62 | 25 | 25 | 0 | 37 |
| 25 | 25 | 62 | 26 | 26 | 0 | 36 |
| 26 | 26 | 62 | 31 | 31 | 0 | 31 |
| 27 | 29 | 60 | 31 | 31 | 0 | 29 |
| 28 | 31 | 60 | 26 | 26 | 0 | 34 |
| 29 | 29 | 63 | 25 | 25 | 0 | 38 |
| 30 | 26 | 64 | 24 | 24 | 0 | 40 |
| 31 | 25 | 65 | 20 | 20 | 0 | 45 |
| 32 | 22 | 67 | 19 | 19 | 0 | 48 |
| 33 | 20 | 68 | 18 | 18 | 0 | 50 |
| 34 | 19 | 69 | 14 | 14 | 0 | 55 |
| 35 | 16 | 71 | 13 | 13 | 0 | 58 |
| 36 | 14 | 72 | 12 | 12 | 0 | 60 |
| 37 | 13 | 73 | 8 | 8 | 0 | 65 |
| 38 | 10 | 75 | 7 | 7 | 0 | 68 |
| 39 | 8 | 76 | 2 | 2 | 0 | 74 |
| 40 | 5 | 79 | 31 | 31 | 0 | 48 |
| 41 | 17 | 65 | 26 | 26 | 0 | 39 |
| 42 | 29 | 68 | 25 | 25 | 0 | 43 |
| 43 | 26 | 69 | 24 | 24 | 0 | 45 |
| 44 | 25 | 70 | 20 | 20 | 0 | 50 |
| 45 | 22 | 72 | 19 | 19 | 0 | 53 |
| 46 | 20 | 73 | 18 | 18 | 0 | 55 |
| 47 | 19 | 74 | 14 | 14 | 0 | 60 |
| 48 | 16 | 76 | 13 | 13 | 0 | 63 |
| 49 | 14 | 77 | 12 | 12 | 0 | 65 |
| 50 | 13 | 78 | 8 | 8 | 0 | 70 |
| 51 | 10 | 80 | 7 | 7 | 0 | 73 |
| 52 | 8 | 81 | 20 | 20 | 0 | 61 |
| Total | 988 | | | | 0 | 2515 |

Tabla 2. Elaboración de la matriz con los 13 estados

| | 2 | 7 | 8 | 12 | 13 | 14 | 18 | 19 | 20 | 24 | 25 | 26 | 31 | | |
|----|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|----|
| 2 | | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | 2 |
| 7 | 1 | | 2 | | | | | | 1 | | | | | | 4 |
| 8 | | 2 | | 1 | | | | | | | | | 1 | | 4 |
| 12 | | | 2 | | 2 | | | | | | | | | | 4 |
| 13 | | | | 2 | | 2 | | | | | | | | | 4 |
| 14 | | | | | 2 | | 2 | | | | | | | | 4 |
| 18 | | | | 1 | | 2 | | 2 | | | | | | | 5 |
| 19 | | | | | | | 2 | | 2 | | | | | | 4 |
| 20 | | | | | | | | 2 | | 2 | | | | | 4 |
| 24 | | | | | | | | | 2 | | 2 | | | | 4 |
| 25 | | 1 | | | | | | | | 2 | | 2 | | | 5 |
| 26 | | | | | | | | | | | 2 | | 2 | | 4 |
| 31 | 1 | | | | | | | | | | | 2 | 1 | | 4 |
| | | | | | | | | | | | | | | | 51 |

Tabla 3. Elaboración de la Matriz Ergodica

| | 2 | 7 | 8 | 12 | 13 | 14 | 18 | 19 | 20 | 24 | 25 | 26 | 31 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.500 |
| 7 | 0.250 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 8 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.250 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.250 |
| 12 | 0.000 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 13 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 14 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 18 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.200 | 0.000 | 0.400 | 0.000 | 0.400 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 19 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 20 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 24 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.000 |
| 25 | 0.000 | 0.200 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.400 | 0.000 | 0.400 | 0.000 |
| 26 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.500 |
| 31 | 0.250 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.500 | 0.250 |

Matriz de Estado estable

Tabla 4. Matriz con m=13 y n=10 para el repuesto 4

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 2 | 7 | 8 | 12 | 13 | 14 | 18 | 19 | 20 | 24 | 25 | 26 | 31 |
| 2 | 0.049 | 0.076 | 0.067 | 0.058 | 0.056 | 0.054 | 0.066 | 0.077 | 0.101 | 0.087 | 0.092 | 0.096 | 0.119 |
| 7 | 0.049 | 0.077 | 0.067 | 0.058 | 0.056 | 0.054 | 0.065 | 0.077 | 0.101 | 0.088 | 0.092 | 0.096 | 0.119 |
| 8 | 0.049 | 0.076 | 0.067 | 0.058 | 0.056 | 0.054 | 0.066 | 0.077 | 0.101 | 0.087 | 0.092 | 0.096 | 0.119 |
| 12 | 0.049 | 0.077 | 0.067 | 0.058 | 0.056 | 0.055 | 0.065 | 0.077 | 0.101 | 0.088 | 0.092 | 0.096 | 0.119 |
| 13 | 0.049 | 0.076 | 0.067 | 0.058 | 0.056 | 0.054 | 0.066 | 0.077 | 0.102 | 0.087 | 0.092 | 0.096 | 0.119 |
| 14 | 0.049 | 0.077 | 0.067 | 0.058 | 0.056 | 0.055 | 0.065 | 0.077 | 0.101 | 0.088 | 0.092 | 0.096 | 0.119 |
| 18 | 0.049 | 0.076 | 0.068 | 0.058 | 0.056 | 0.054 | 0.066 | 0.077 | 0.102 | 0.087 | 0.092 | 0.096 | 0.119 |
| 19 | 0.049 | 0.077 | 0.067 | 0.058 | 0.056 | 0.055 | 0.065 | 0.077 | 0.101 | 0.088 | 0.092 | 0.096 | 0.119 |
| 20 | 0.049 | 0.076 | 0.068 | 0.058 | 0.056 | 0.054 | 0.066 | 0.077 | 0.102 | 0.087 | 0.092 | 0.096 | 0.119 |
| 24 | 0.049 | 0.077 | 0.067 | 0.058 | 0.056 | 0.055 | 0.065 | 0.077 | 0.101 | 0.088 | 0.092 | 0.096 | 0.119 |
| 25 | 0.049 | 0.076 | 0.067 | 0.058 | 0.056 | 0.054 | 0.066 | 0.077 | 0.101 | 0.087 | 0.092 | 0.096 | 0.119 |
| 26 | 0.049 | 0.077 | 0.067 | 0.058 | 0.056 | 0.054 | 0.065 | 0.077 | 0.101 | 0.087 | 0.092 | 0.096 | 0.119 |
| 31 | 0.049 | 0.076 | 0.067 | 0.058 | 0.056 | 0.054 | 0.066 | 0.077 | 0.101 | 0.087 | 0.092 | 0.096 | 0.119 |

Tabla 5. Simulación con una demanda promedio de 19 según Markov para el repuesto 4

| SEMANA | COMPRA | DISPONIBLE | DEMANDA | VENTA | ESCASEZ | INVENTARIO |
|--------|--------|------------|---------|-------|---------|------------|
| 1 | 54 | 54 | 19 | 19 | 0 | 35 |
| 2 | 25 | 60 | 19 | 19 | 0 | 6 |
| 3 | 16 | 22 | 19 | 19 | 0 | 0 |
| 4 | 8 | 8 | 19 | 8 | 11 | 0 |
| 5 | 10 | 10 | 19 | 10 | 9 | 0 |
| 6 | 13 | 13 | 19 | 13 | 6 | 0 |
| 7 | 14 | 14 | 19 | 14 | 5 | 0 |
| 8 | 16 | 16 | 19 | 16 | 3 | 0 |
| 9 | 19 | 19 | 19 | 19 | 0 | 0 |
| 10 | 20 | 20 | 19 | 19 | 0 | 1 |
| 11 | 22 | 23 | 19 | 19 | 0 | 3 |
| 12 | 25 | 28 | 19 | 19 | 0 | 6 |
| 13 | 26 | 32 | 19 | 19 | 0 | 7 |
| 14 | 29 | 36 | 19 | 19 | 0 | 10 |
| 15 | 17 | 27 | 19 | 19 | 0 | 0 |
| 16 | 5 | 5 | 19 | 5 | 14 | 0 |
| 17 | 13 | 13 | 19 | 13 | 6 | 0 |
| 18 | 15 | 15 | 19 | 15 | 4 | 0 |
| 19 | 13 | 13 | 19 | 13 | 6 | 0 |
| 20 | 14 | 14 | 19 | 14 | 5 | 0 |
| 21 | 16 | 16 | 19 | 16 | 3 | 0 |
| 22 | 19 | 19 | 19 | 19 | 0 | 0 |
| 23 | 20 | 20 | 19 | 19 | 0 | 1 |
| 24 | 22 | 23 | 19 | 19 | 0 | 3 |
| 25 | 25 | 28 | 19 | 19 | 0 | 6 |
| 26 | 26 | 32 | 19 | 19 | 0 | 7 |
| 27 | 29 | 36 | 19 | 19 | 0 | 10 |
| 28 | 31 | 41 | 19 | 19 | 0 | 12 |
| 29 | 29 | 41 | 19 | 19 | 0 | 10 |
| 30 | 26 | 36 | 19 | 19 | 0 | 7 |
| 31 | 25 | 32 | 19 | 19 | 0 | 6 |
| 32 | 22 | 28 | 19 | 19 | 0 | 3 |
| 33 | 20 | 23 | 19 | 19 | 0 | 1 |
| 34 | 19 | 20 | 19 | 19 | 0 | 0 |
| 35 | 16 | 16 | 19 | 16 | 3 | 0 |
| 36 | 14 | 14 | 19 | 14 | 5 | 0 |
| 37 | 13 | 13 | 19 | 13 | 6 | 0 |
| 38 | 10 | 10 | 19 | 10 | 9 | 0 |
| 39 | 8 | 8 | 19 | 8 | 11 | 0 |
| 40 | 5 | 5 | 19 | 5 | 14 | 0 |
| 41 | 17 | 17 | 19 | 17 | 2 | 0 |
| 42 | 29 | 29 | 19 | 19 | 0 | 10 |
| 43 | 26 | 36 | 19 | 19 | 0 | 7 |
| 44 | 25 | 32 | 19 | 19 | 0 | 6 |
| 45 | 22 | 28 | 19 | 19 | 0 | 3 |
| 46 | 20 | 23 | 19 | 19 | 0 | 1 |
| 47 | 19 | 20 | 19 | 19 | 0 | 0 |
| 48 | 16 | 16 | 19 | 16 | 3 | 0 |
| 49 | 14 | 14 | 19 | 14 | 5 | 0 |
| 50 | 13 | 13 | 19 | 13 | 6 | 0 |
| 51 | 10 | 10 | 19 | 10 | 9 | 0 |
| 52 | 8 | 8 | 19 | 8 | 11 | 0 |
| Total | 988 | | 988 | | 156 | 161 |

Tabla 6. Comparación de los costos usando los tres modelos presentados

| Actualmente | Propuesta pero con Markov | Modelo EOQ con faltantes con el dato de Markov |
|-------------|---------------------------|--|
| 73,378.05 | 70,065.27 | 69,074.91 |

REPUESTO 5

Tabla 1. Comportamiento de la demanda del repuesto 5, año 2016

| SEMANAS | COMPRA | DISPONIBLE | DEMANDA | VENTA | ESCASEZ | INVENTARIO |
|---------|--------|------------|---------|-------|---------|------------|
| 1 | 21 | 21 | 3 | 3 | 0 | 18 |
| 2 | 3 | 21 | 4 | 4 | 0 | 17 |
| 3 | 4 | 21 | 6 | 6 | 0 | 15 |
| 4 | 5 | 20 | 9 | 9 | 0 | 11 |
| 5 | 8 | 19 | 11 | 11 | 0 | 8 |
| 6 | 10 | 18 | 13 | 13 | 0 | 5 |
| 7 | 12 | 17 | 15 | 15 | 0 | 2 |
| 8 | 14 | 16 | 17 | 16 | 1 | 0 |
| 9 | 16 | 16 | 19 | 16 | 3 | 0 |
| 10 | 18 | 18 | 21 | 18 | 3 | 0 |
| 11 | 20 | 20 | 23 | 20 | 3 | 0 |
| 12 | 22 | 22 | 27 | 22 | 5 | 0 |
| 13 | 25 | 25 | 29 | 25 | 4 | 0 |
| 14 | 28 | 28 | 3 | 3 | 0 | 25 |
| 15 | 16 | 41 | 4 | 4 | 0 | 37 |
| 16 | 4 | 41 | 6 | 6 | 0 | 35 |
| 17 | 5 | 40 | 9 | 9 | 0 | 31 |
| 18 | 8 | 39 | 11 | 11 | 0 | 28 |
| 19 | 10 | 38 | 13 | 13 | 0 | 25 |
| 20 | 12 | 37 | 15 | 15 | 0 | 22 |
| 21 | 14 | 36 | 17 | 17 | 0 | 19 |
| 22 | 16 | 35 | 19 | 19 | 0 | 16 |
| 23 | 18 | 34 | 21 | 21 | 0 | 13 |
| 24 | 20 | 33 | 23 | 23 | 0 | 10 |
| 25 | 22 | 32 | 27 | 27 | 0 | 5 |
| 26 | 25 | 30 | 29 | 29 | 0 | 1 |
| 27 | 28 | 29 | 29 | 29 | 0 | 0 |
| 28 | 29 | 29 | 27 | 27 | 0 | 2 |
| 29 | 28 | 30 | 23 | 23 | 0 | 7 |
| 30 | 25 | 32 | 21 | 21 | 0 | 11 |
| 31 | 22 | 33 | 19 | 19 | 0 | 14 |
| 32 | 20 | 34 | 17 | 17 | 0 | 17 |
| 33 | 18 | 35 | 15 | 15 | 0 | 20 |
| 34 | 16 | 36 | 13 | 13 | 0 | 23 |
| 35 | 14 | 37 | 11 | 11 | 0 | 26 |
| 36 | 12 | 38 | 9 | 9 | 0 | 29 |
| 37 | 10 | 39 | 6 | 6 | 0 | 33 |
| 38 | 8 | 41 | 4 | 4 | 0 | 37 |
| 39 | 5 | 42 | 3 | 3 | 0 | 39 |
| 40 | 4 | 43 | 29 | 29 | 0 | 14 |
| 41 | 16 | 30 | 27 | 27 | 0 | 3 |
| 42 | 28 | 31 | 23 | 23 | 0 | 8 |
| 43 | 25 | 33 | 21 | 21 | 0 | 12 |
| 44 | 22 | 34 | 19 | 19 | 0 | 15 |
| 45 | 20 | 35 | 17 | 17 | 0 | 18 |
| 46 | 18 | 36 | 15 | 15 | 0 | 21 |
| 47 | 16 | 37 | 13 | 13 | 0 | 24 |
| 48 | 14 | 38 | 11 | 11 | 0 | 27 |
| 49 | 12 | 39 | 9 | 9 | 0 | 30 |
| 50 | 10 | 40 | 6 | 6 | 0 | 34 |
| 51 | 8 | 42 | 4 | 4 | 0 | 38 |
| 52 | 5 | 43 | 3 | 3 | 0 | 40 |
| Total | 809 | | | | 19 | 885 |

Tabla 2. Elaboración de la matriz con los 13 estados

| | 3 | 4 | 6 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 | 21 | 23 | 27 | 29 | | |
|----|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|----|
| 3 | | 2 | | | | | | | | | | | 1 | | 3 |
| 4 | 2 | | 2 | | | | | | | | | | | | 4 |
| 6 | | 2 | | 2 | | | | | | | | | | | 4 |
| 9 | | | 2 | | 2 | | | | | | | | | | 4 |
| 11 | | | | 2 | | 2 | | | | | | | | | 4 |
| 13 | | | | | 2 | | 2 | | | | | | | | 4 |
| 15 | | | | | | 2 | | 2 | | | | | | | 4 |
| 17 | | | | | | | 2 | | 2 | | | | | | 4 |
| 19 | | | | | | | | 2 | | 2 | | | | | 4 |
| 21 | | | | | | | | | 2 | | 2 | | | | 4 |
| 23 | | | | | | | | | | 2 | | 2 | | | 4 |
| 27 | | | | | | | | | | | 2 | | 2 | | 4 |
| 29 | 1 | | | | | | | | | | | 2 | 1 | | 4 |
| | | | | | | | | | | | | | | | 51 |

Tabla 3. Elaboración de la Matriz Ergodica

| | 3 | 4 | 6 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 | 21 | 23 | 27 | 29 | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|
| 3 | 0.000 | 0.667 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.333 | | |
| 4 | 0.500 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | |
| 6 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | |
| 9 | 0.000 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | |
| 11 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | |
| 13 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | |
| 15 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | |
| 17 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | |
| 19 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | |
| 21 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.000 | | |
| 23 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | | |
| 27 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | | |
| 29 | 0.250 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.500 | | |

Matriz de Estado estable

Tabla 4. Matriz con $m=13$ y $n=8$ para el repuesto 5

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 3 | 4 | 6 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 | 21 | 23 | 27 | 29 |
| 3 | 0.059 | 0.078 | 0.078 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.078 | 0.078 | 0.078 | 0.078 | 0.078 |
| 4 | 0.059 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.078 | 0.078 |
| 6 | 0.059 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.078 |
| 9 | 0.059 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.078 | 0.078 |
| 11 | 0.059 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.078 |
| 13 | 0.059 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.078 | 0.078 |
| 15 | 0.059 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.078 |
| 17 | 0.059 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.078 | 0.078 |
| 19 | 0.059 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.078 |
| 21 | 0.059 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.078 | 0.078 |
| 23 | 0.059 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.079 | 0.078 | 0.078 | 0.078 | 0.078 |
| 27 | 0.059 | 0.078 | 0.078 | 0.078 | 0.078 | 0.078 | 0.078 | 0.078 | 0.078 | 0.078 | 0.078 | 0.078 | 0.078 |
| 29 | 0.059 | 0.078 | 0.078 | 0.078 | 0.078 | 0.078 | 0.078 | 0.078 | 0.078 | 0.078 | 0.078 | 0.078 | 0.078 |

Tabla 5. Simulación con una demanda promedio de 16 según Markov para el repuesto 5

| SEMANA | COMPRA | DISPONIBLE | DEMANDA | VENTA | ESCASEZ | INVENTARIO |
|--------|--------|------------|---------|-------|---------|------------|
| 1 | 21 | 21 | 16 | 16 | 0 | 5 |
| 2 | 3 | 8 | 16 | 8 | 8 | 0 |
| 3 | 4 | 4 | 16 | 4 | 12 | 0 |
| 4 | 5 | 5 | 16 | 5 | 11 | 0 |
| 5 | 8 | 8 | 16 | 8 | 8 | 0 |
| 6 | 10 | 10 | 16 | 10 | 6 | 0 |
| 7 | 12 | 12 | 16 | 12 | 4 | 0 |
| 8 | 14 | 14 | 16 | 14 | 2 | 0 |
| 9 | 16 | 16 | 16 | 16 | 0 | 0 |
| 10 | 18 | 18 | 16 | 16 | 0 | 2 |
| 11 | 20 | 22 | 16 | 16 | 0 | 4 |
| 12 | 22 | 26 | 16 | 16 | 0 | 6 |
| 13 | 25 | 31 | 16 | 16 | 0 | 9 |
| 14 | 28 | 37 | 16 | 16 | 0 | 12 |
| 15 | 16 | 28 | 16 | 16 | 0 | 0 |
| 16 | 4 | 4 | 16 | 4 | 12 | 0 |
| 17 | 5 | 5 | 16 | 5 | 11 | 0 |
| 18 | 8 | 8 | 16 | 8 | 8 | 0 |
| 19 | 10 | 10 | 16 | 10 | 6 | 0 |
| 20 | 12 | 12 | 16 | 12 | 4 | 0 |
| 21 | 14 | 14 | 16 | 14 | 2 | 0 |
| 22 | 16 | 16 | 16 | 16 | 0 | 0 |
| 23 | 18 | 18 | 16 | 16 | 0 | 2 |
| 24 | 20 | 22 | 16 | 16 | 0 | 4 |
| 25 | 22 | 26 | 16 | 16 | 0 | 6 |
| 26 | 25 | 31 | 16 | 16 | 0 | 9 |
| 27 | 28 | 37 | 16 | 16 | 0 | 12 |
| 28 | 29 | 41 | 16 | 16 | 0 | 13 |
| 29 | 28 | 41 | 16 | 16 | 0 | 12 |
| 30 | 25 | 37 | 16 | 16 | 0 | 9 |
| 31 | 22 | 31 | 16 | 16 | 0 | 6 |
| 32 | 20 | 26 | 16 | 16 | 0 | 4 |
| 33 | 18 | 22 | 16 | 16 | 0 | 2 |
| 34 | 16 | 18 | 16 | 16 | 0 | 0 |
| 35 | 14 | 14 | 16 | 14 | 2 | 0 |
| 36 | 12 | 12 | 16 | 12 | 4 | 0 |
| 37 | 10 | 10 | 16 | 10 | 6 | 0 |
| 38 | 8 | 8 | 16 | 8 | 8 | 0 |
| 39 | 5 | 5 | 16 | 5 | 11 | 0 |
| 40 | 4 | 4 | 16 | 4 | 12 | 0 |
| 41 | 16 | 16 | 16 | 16 | 0 | 0 |
| 42 | 28 | 28 | 16 | 16 | 0 | 12 |
| 43 | 25 | 37 | 16 | 16 | 0 | 9 |
| 44 | 22 | 31 | 16 | 16 | 0 | 6 |
| 45 | 20 | 26 | 16 | 16 | 0 | 4 |
| 46 | 18 | 22 | 16 | 16 | 0 | 2 |
| 47 | 16 | 18 | 16 | 16 | 0 | 0 |
| 48 | 14 | 14 | 16 | 14 | 2 | 0 |
| 49 | 12 | 12 | 16 | 12 | 4 | 0 |
| 50 | 10 | 10 | 16 | 10 | 6 | 0 |
| 51 | 8 | 8 | 16 | 8 | 8 | 0 |
| 52 | 5 | 5 | 16 | 5 | 11 | 0 |
| | 809 | | 832 | | 168 | 150 |

Tabla 6. Comparación de los costos usando los tres modelos presentados

| Actualmente | Propuesta pero con Markov | Modelo EOQ con faltantes con el dato de Markov |
|-------------|---------------------------|--|
| 57,007.40 | 56,998.00 | 57,398.56 |

REPUESTO 6

Tabla 1. Comportamiento de la demanda del repuesto 6, año 2016

| SEMANA | COMPRA | DISPONIBLE | DEMANDA | VENTA | ESCASEZ | INVENTARIO |
|--------|--------|------------|---------|-------|---------|------------|
| 1 | 45 | 45 | 17 | 17 | 0 | 28 |
| 2 | 17 | 45 | 2 | 2 | 0 | 43 |
| 3 | 10 | 53 | 4 | 4 | 0 | 49 |
| 4 | 3 | 52 | 7 | 7 | 0 | 45 |
| 5 | 6 | 51 | 9 | 9 | 0 | 42 |
| 6 | 8 | 50 | 11 | 11 | 0 | 39 |
| 7 | 10 | 49 | 13 | 13 | 0 | 36 |
| 8 | 12 | 48 | 15 | 15 | 0 | 33 |
| 9 | 14 | 47 | 17 | 17 | 0 | 30 |
| 10 | 16 | 46 | 19 | 19 | 0 | 27 |
| 11 | 18 | 45 | 21 | 21 | 0 | 24 |
| 12 | 20 | 44 | 25 | 25 | 0 | 19 |
| 13 | 23 | 42 | 27 | 27 | 0 | 15 |
| 14 | 26 | 41 | 1 | 1 | 0 | 40 |
| 15 | 14 | 54 | 2 | 2 | 0 | 52 |
| 16 | 2 | 54 | 4 | 4 | 0 | 50 |
| 17 | 3 | 53 | 7 | 7 | 0 | 46 |
| 18 | 6 | 52 | 9 | 9 | 0 | 43 |
| 19 | 8 | 51 | 11 | 11 | 0 | 40 |
| 20 | 10 | 50 | 13 | 13 | 0 | 37 |
| 21 | 12 | 49 | 15 | 15 | 0 | 34 |
| 22 | 14 | 48 | 17 | 17 | 0 | 31 |
| 23 | 16 | 47 | 19 | 19 | 0 | 28 |
| 24 | 18 | 46 | 21 | 21 | 0 | 25 |
| 25 | 20 | 45 | 25 | 25 | 0 | 20 |
| 26 | 23 | 43 | 27 | 27 | 0 | 16 |
| 27 | 26 | 42 | 27 | 27 | 0 | 15 |
| 28 | 27 | 42 | 25 | 25 | 0 | 17 |
| 29 | 26 | 43 | 21 | 21 | 0 | 22 |
| 30 | 23 | 45 | 19 | 19 | 0 | 26 |
| 31 | 20 | 46 | 17 | 17 | 0 | 29 |
| 32 | 18 | 47 | 15 | 15 | 0 | 32 |
| 33 | 16 | 48 | 13 | 13 | 0 | 35 |
| 34 | 14 | 49 | 11 | 11 | 0 | 38 |
| 35 | 12 | 50 | 9 | 9 | 0 | 41 |
| 36 | 10 | 51 | 7 | 7 | 0 | 44 |
| 37 | 8 | 52 | 4 | 4 | 0 | 48 |
| 38 | 6 | 54 | 2 | 2 | 0 | 52 |
| 39 | 3 | 55 | 1 | 1 | 0 | 54 |
| 40 | 2 | 56 | 27 | 27 | 0 | 29 |
| 41 | 14 | 43 | 25 | 25 | 0 | 18 |
| 42 | 26 | 44 | 21 | 21 | 0 | 23 |
| 43 | 23 | 46 | 19 | 19 | 0 | 27 |
| 44 | 20 | 47 | 17 | 17 | 0 | 30 |
| 45 | 18 | 48 | 15 | 15 | 0 | 33 |
| 46 | 16 | 49 | 13 | 13 | 0 | 36 |
| 47 | 14 | 50 | 11 | 11 | 0 | 39 |
| 48 | 12 | 51 | 9 | 9 | 0 | 42 |
| 49 | 10 | 52 | 7 | 7 | 0 | 45 |
| 50 | 8 | 53 | 4 | 4 | 0 | 49 |
| 51 | 6 | 55 | 2 | 2 | 0 | 53 |
| 52 | 3 | 56 | 1 | 1 | 0 | 55 |
| Total | 755 | | 1 | 1 | 0 | 1824 |

Tabla 2. Elaboración de la matriz con los 13 estados

| | 1 | 2 | 4 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 | 21 | 25 | 27 | |
|----|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | | 1 | | | | | | | | | | | 1 | 2 |
| 2 | 2 | | 2 | | | | | | | | | | | 4 |
| 4 | | 2 | | 2 | | | | | | | | | | 4 |
| 7 | | | 2 | | 2 | | | | | | | | | 4 |
| 9 | | | | 2 | | 2 | | | | | | | | 4 |
| 11 | | | | | 2 | | 2 | | | | | | | 4 |
| 13 | | | | | | 2 | | 2 | | | | | | 4 |
| 15 | | | | | | | 2 | | 2 | | | | | 4 |
| 17 | | 1 | | | | | | 2 | | 2 | | | | 5 |
| 19 | | | | | | | | | 2 | | 2 | | | 4 |
| 21 | | | | | | | | | | 2 | | 2 | | 4 |
| 25 | | | | | | | | | | | 2 | 2 | | 4 |
| 27 | 1 | | | | | | | | | | | 2 | 1 | 4 |
| | | | | | | | | | | | | | | 51 |

Tabla 3. Elaboración de la Matriz Ergodica

| | 1 | 2 | 4 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 | 21 | 25 | 27 |
|----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 1 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 |
| 2 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 0 | 0.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.4 | 0 | 0.4 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0 |
| 21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0.5 | 0 |
| 27 | 0.25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0.25 |

Matriz de Estado estable

Tabla 4. Matriz con $m=13$ y $n=8$ para el repuesto 6

| | 1 | 2 | 4 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 | 21 | 25 | 27 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 0.044 | 0.074 | 0.072 | 0.071 | 0.069 | 0.067 | 0.066 | 0.064 | 0.078 | 0.092 | 0.122 | 0.151 | 0.030 |
| 2 | 0.044 | 0.074 | 0.072 | 0.071 | 0.069 | 0.067 | 0.066 | 0.064 | 0.078 | 0.092 | 0.122 | 0.151 | 0.030 |
| 4 | 0.044 | 0.074 | 0.072 | 0.071 | 0.069 | 0.067 | 0.066 | 0.064 | 0.078 | 0.092 | 0.122 | 0.151 | 0.030 |
| 7 | 0.044 | 0.074 | 0.072 | 0.071 | 0.069 | 0.067 | 0.066 | 0.064 | 0.078 | 0.092 | 0.122 | 0.151 | 0.030 |
| 9 | 0.044 | 0.074 | 0.072 | 0.071 | 0.069 | 0.067 | 0.066 | 0.064 | 0.078 | 0.092 | 0.122 | 0.151 | 0.030 |
| 11 | 0.044 | 0.074 | 0.072 | 0.071 | 0.069 | 0.067 | 0.066 | 0.064 | 0.078 | 0.092 | 0.122 | 0.151 | 0.030 |
| 13 | 0.044 | 0.074 | 0.072 | 0.071 | 0.069 | 0.067 | 0.066 | 0.064 | 0.078 | 0.092 | 0.122 | 0.151 | 0.030 |
| 15 | 0.044 | 0.074 | 0.072 | 0.071 | 0.069 | 0.067 | 0.066 | 0.064 | 0.078 | 0.092 | 0.122 | 0.151 | 0.030 |
| 17 | 0.044 | 0.074 | 0.072 | 0.071 | 0.069 | 0.067 | 0.066 | 0.064 | 0.078 | 0.092 | 0.122 | 0.151 | 0.030 |
| 19 | 0.044 | 0.074 | 0.072 | 0.071 | 0.069 | 0.067 | 0.066 | 0.064 | 0.078 | 0.092 | 0.122 | 0.151 | 0.030 |
| 21 | 0.044 | 0.074 | 0.072 | 0.071 | 0.069 | 0.067 | 0.066 | 0.064 | 0.078 | 0.092 | 0.122 | 0.151 | 0.030 |
| 25 | 0.044 | 0.074 | 0.072 | 0.071 | 0.069 | 0.067 | 0.066 | 0.064 | 0.078 | 0.092 | 0.122 | 0.151 | 0.030 |
| 27 | 0.044 | 0.074 | 0.072 | 0.071 | 0.069 | 0.067 | 0.066 | 0.064 | 0.078 | 0.092 | 0.122 | 0.151 | 0.030 |

Tabla 5. Simulación con una demanda promedio de 16 según Markov para el
respuesta 6

| SEMANA | COMPRA | DISPONIBLE | DEMANDA | VENTA | ESCASEZ | INVENTARIO |
|--------|--------|------------|---------|-------|---------|------------|
| 1 | 45 | 45 | 15 | 15 | 0 | 30 |
| 2 | 17 | 47 | 15 | 15 | 0 | 2 |
| 3 | 10 | 12 | 15 | 12 | 3 | 0 |
| 4 | 3 | 3 | 15 | 3 | 12 | 0 |
| 5 | 6 | 6 | 15 | 6 | 9 | 0 |
| 6 | 8 | 8 | 15 | 8 | 7 | 0 |
| 7 | 10 | 10 | 15 | 10 | 5 | 0 |
| 8 | 12 | 12 | 15 | 12 | 3 | 0 |
| 9 | 14 | 14 | 15 | 14 | 1 | 0 |
| 10 | 16 | 16 | 15 | 15 | 0 | 1 |
| 11 | 18 | 19 | 15 | 15 | 0 | 3 |
| 12 | 20 | 23 | 15 | 15 | 0 | 5 |
| 13 | 23 | 28 | 15 | 15 | 0 | 8 |
| 14 | 26 | 34 | 15 | 15 | 0 | 11 |
| 15 | 14 | 25 | 15 | 15 | 0 | 0 |
| 16 | 2 | 2 | 15 | 2 | 13 | 0 |
| 17 | 3 | 3 | 15 | 3 | 12 | 0 |
| 18 | 6 | 6 | 15 | 6 | 9 | 0 |
| 19 | 8 | 8 | 15 | 8 | 7 | 0 |
| 20 | 10 | 10 | 15 | 10 | 5 | 0 |
| 21 | 12 | 12 | 15 | 12 | 3 | 0 |
| 22 | 14 | 14 | 15 | 14 | 1 | 0 |
| 23 | 16 | 16 | 15 | 15 | 0 | 1 |
| 24 | 18 | 19 | 15 | 15 | 0 | 3 |
| 25 | 20 | 23 | 15 | 15 | 0 | 5 |
| 26 | 23 | 28 | 15 | 15 | 0 | 8 |
| 27 | 26 | 34 | 15 | 15 | 0 | 11 |
| 28 | 27 | 38 | 15 | 15 | 0 | 12 |
| 29 | 26 | 38 | 15 | 15 | 0 | 11 |
| 30 | 23 | 34 | 15 | 15 | 0 | 8 |
| 31 | 20 | 28 | 15 | 15 | 0 | 5 |
| 32 | 18 | 23 | 15 | 15 | 0 | 3 |
| 33 | 16 | 19 | 15 | 15 | 0 | 1 |
| 34 | 14 | 15 | 15 | 15 | 0 | 0 |
| 35 | 12 | 12 | 15 | 12 | 3 | 0 |
| 36 | 10 | 10 | 15 | 10 | 5 | 0 |
| 37 | 8 | 8 | 15 | 8 | 7 | 0 |
| 38 | 6 | 6 | 15 | 6 | 9 | 0 |
| 39 | 3 | 3 | 15 | 3 | 12 | 0 |
| 40 | 2 | 2 | 15 | 2 | 13 | 0 |
| 41 | 14 | 14 | 15 | 14 | 1 | 0 |
| 42 | 26 | 26 | 15 | 15 | 0 | 11 |
| 43 | 23 | 34 | 15 | 15 | 0 | 8 |
| 44 | 20 | 28 | 15 | 15 | 0 | 5 |
| 45 | 18 | 23 | 15 | 15 | 0 | 3 |
| 46 | 16 | 19 | 15 | 15 | 0 | 1 |
| 47 | 14 | 15 | 15 | 15 | 0 | 0 |
| 48 | 12 | 12 | 15 | 12 | 3 | 0 |
| 49 | 10 | 10 | 15 | 10 | 5 | 0 |
| 50 | 8 | 8 | 15 | 8 | 7 | 0 |
| 51 | 6 | 6 | 15 | 6 | 9 | 0 |
| 52 | 3 | 3 | 15 | 3 | 12 | 0 |
| | 755 | | 780 | | 176 | 156 |

Tabla 6. Comparación de los costos usando los tres modelos presentados

| | | |
|-------------|---------------------------|--|
| Actualmente | Propuesta pero con Markov | Modelo EOQ con faltantes con el dato de Markov |
| 85,020.60 | 81,526.40 | 82,888.77 |

REPUESTO 7

Tabla 1. Comportamiento de la demanda del repuesto 7, año 2016

| SEMANA | OM | SPOI | DEMANDA | VENTA | ESCASEZ | INVENTARIO |
|--------|------------|------|---------|-------|-----------|-------------|
| 1 | 2 | 2 | 28 | 2 | 26 | 0 |
| 2 | 28 | 28 | 26 | 26 | 0 | 2 |
| 3 | 27 | 29 | 22 | 22 | 0 | 7 |
| 4 | 24 | 31 | 20 | 20 | 0 | 11 |
| 5 | 21 | 32 | 18 | 18 | 0 | 14 |
| 6 | 19 | 33 | 16 | 16 | 0 | 17 |
| 7 | 17 | 34 | 14 | 14 | 0 | 20 |
| 8 | 15 | 35 | 12 | 12 | 0 | 23 |
| 9 | 13 | 36 | 10 | 10 | 0 | 26 |
| 10 | 11 | 37 | 8 | 8 | 0 | 29 |
| 11 | 9 | 38 | 5 | 5 | 0 | 33 |
| 12 | 7 | 40 | 3 | 3 | 0 | 37 |
| 13 | 4 | 41 | 2 | 2 | 0 | 39 |
| 14 | 3 | 42 | 28 | 28 | 0 | 14 |
| 15 | 15 | 29 | 26 | 26 | 0 | 3 |
| 16 | 27 | 30 | 22 | 22 | 0 | 8 |
| 17 | 24 | 32 | 20 | 20 | 0 | 12 |
| 18 | 21 | 33 | 18 | 18 | 0 | 15 |
| 19 | 19 | 34 | 16 | 16 | 0 | 18 |
| 20 | 17 | 35 | 14 | 14 | 0 | 21 |
| 21 | 15 | 36 | 12 | 12 | 0 | 24 |
| 22 | 13 | 37 | 10 | 10 | 0 | 27 |
| 23 | 11 | 38 | 8 | 8 | 0 | 30 |
| 24 | 9 | 39 | 5 | 5 | 0 | 34 |
| 25 | 7 | 41 | 3 | 3 | 0 | 38 |
| 26 | 4 | 42 | 2 | 2 | 0 | 40 |
| 27 | 3 | 43 | 2 | 2 | 0 | 41 |
| 28 | 2 | 43 | 3 | 3 | 0 | 40 |
| 29 | 3 | 43 | 5 | 5 | 0 | 38 |
| 30 | 4 | 42 | 8 | 8 | 0 | 34 |
| 31 | 7 | 41 | 10 | 10 | 0 | 31 |
| 32 | 9 | 40 | 12 | 12 | 0 | 28 |
| 33 | 11 | 39 | 14 | 14 | 0 | 25 |
| 34 | 13 | 38 | 16 | 16 | 0 | 22 |
| 35 | 15 | 37 | 18 | 18 | 0 | 19 |
| 36 | 17 | 36 | 20 | 20 | 0 | 16 |
| 37 | 19 | 35 | 22 | 22 | 0 | 13 |
| 38 | 21 | 34 | 26 | 26 | 0 | 8 |
| 39 | 24 | 32 | 28 | 28 | 0 | 4 |
| 40 | 27 | 31 | 2 | 2 | 0 | 29 |
| 41 | 15 | 44 | 3 | 3 | 0 | 41 |
| 42 | 3 | 44 | 5 | 5 | 0 | 39 |
| 43 | 4 | 43 | 8 | 8 | 0 | 35 |
| 44 | 7 | 42 | 10 | 10 | 0 | 32 |
| 45 | 9 | 41 | 12 | 12 | 0 | 29 |
| 46 | 11 | 40 | 14 | 14 | 0 | 26 |
| 47 | 13 | 39 | 16 | 16 | 0 | 23 |
| 48 | 15 | 38 | 18 | 18 | 0 | 20 |
| 49 | 17 | 37 | 20 | 20 | 0 | 17 |
| 50 | 19 | 36 | 22 | 22 | 0 | 14 |
| 51 | 21 | 35 | 26 | 26 | 0 | 9 |
| 52 | 24 | 33 | 28 | 28 | 0 | 5 |
| Total | 715 | | | | 26 | 1180 |

Tabla 2. Elaboración de la matriz con los 13 estados

| | 2 | 3 | 5 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 26 | 28 | |
|----|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| 2 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | 1 | |
| 3 | 2 | | 2 | | | | | | | | | | | |
| 5 | | 2 | | 2 | | | | | | | | | | |
| 8 | | | 2 | | 2 | | | | | | | | | |
| 10 | | | | 2 | | 2 | | | | | | | | |
| 12 | | | | | 2 | | 2 | | | | | | | |
| 14 | | | | | | 2 | | 2 | | | | | | |
| 16 | | | | | | | 2 | | 2 | | | | | |
| 18 | | | | | | | | 2 | | 2 | | | | |
| 20 | | | | | | | | | 2 | | 2 | | | |
| 22 | | | | | | | | | | 2 | | 2 | | |
| 26 | | | | | | | | | | | 2 | | 2 | |
| 28 | 1 | | | | | | | | | | | 2 | | |

Tabla 3. Elaboración de la Matriz Ergodica

| | 2 | 3 | 5 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 26 | 28 |
|----|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|------|
| 2 | 0.25 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.25 |
| 3 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0 |
| 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 |
| 26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 |
| 28 | 0.333333 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.6666667 | 0 |

Matriz de Estado estable

Tabla 4. Matriz con m=13 y n=7 para el repuesto 7

| | 2 | 3 | 5 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 26 | 28 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.06 |
| 3 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.06 |
| 5 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.06 |
| 8 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.06 |
| 10 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.06 |
| 12 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.06 |
| 14 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.06 |
| 16 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.06 |
| 18 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.06 |
| 20 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.06 |
| 22 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.06 |
| 26 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.06 |
| 28 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.06 |

Tabla 5. Simulación con una demanda promedio de 14 según Markov para el
respuesta 7

| SEMANA | COMPRA | DISPONIBLE | DEMANDA | VENTA | ESCASEZ | INVENTARIO |
|--------|--------|------------|---------|-------|---------|------------|
| 1 | 2 | 2 | 14 | 2 | 12 | 0 |
| 2 | 28 | 28 | 14 | 14 | 0 | 14 |
| 3 | 27 | 41 | 14 | 14 | 0 | 13 |
| 4 | 24 | 37 | 14 | 14 | 0 | 10 |
| 5 | 21 | 31 | 14 | 14 | 0 | 7 |
| 6 | 19 | 26 | 14 | 14 | 0 | 5 |
| 7 | 17 | 22 | 14 | 14 | 0 | 3 |
| 8 | 15 | 18 | 14 | 14 | 0 | 1 |
| 9 | 13 | 14 | 14 | 14 | 0 | 0 |
| 10 | 11 | 11 | 14 | 11 | 3 | 0 |
| 11 | 9 | 9 | 14 | 9 | 5 | 0 |
| 12 | 7 | 7 | 14 | 7 | 7 | 0 |
| 13 | 4 | 4 | 14 | 4 | 10 | 0 |
| 14 | 3 | 3 | 14 | 3 | 11 | 0 |
| 15 | 15 | 15 | 14 | 14 | 0 | 1 |
| 16 | 27 | 28 | 14 | 14 | 0 | 13 |
| 17 | 24 | 37 | 14 | 14 | 0 | 10 |
| 18 | 21 | 31 | 14 | 14 | 0 | 7 |
| 19 | 19 | 26 | 14 | 14 | 0 | 5 |
| 20 | 17 | 22 | 14 | 14 | 0 | 3 |
| 21 | 15 | 18 | 14 | 14 | 0 | 1 |
| 22 | 13 | 14 | 14 | 14 | 0 | 0 |
| 23 | 11 | 11 | 14 | 11 | 3 | 0 |
| 24 | 9 | 9 | 14 | 9 | 5 | 0 |
| 25 | 7 | 7 | 14 | 7 | 7 | 0 |
| 26 | 4 | 4 | 14 | 4 | 10 | 0 |
| 27 | 3 | 3 | 14 | 3 | 11 | 0 |
| 28 | 2 | 2 | 14 | 2 | 12 | 0 |
| 29 | 3 | 3 | 14 | 3 | 11 | 0 |
| 30 | 4 | 4 | 14 | 4 | 10 | 0 |
| 31 | 7 | 7 | 14 | 7 | 7 | 0 |
| 32 | 9 | 9 | 14 | 9 | 5 | 0 |
| 33 | 11 | 11 | 14 | 11 | 3 | 0 |
| 34 | 13 | 13 | 14 | 13 | 1 | 0 |
| 35 | 15 | 15 | 14 | 14 | 0 | 1 |
| 36 | 17 | 18 | 14 | 14 | 0 | 3 |
| 37 | 19 | 22 | 14 | 14 | 0 | 5 |
| 38 | 21 | 26 | 14 | 14 | 0 | 7 |
| 39 | 24 | 31 | 14 | 14 | 0 | 10 |
| 40 | 27 | 37 | 14 | 14 | 0 | 13 |
| 41 | 15 | 28 | 14 | 14 | 0 | 1 |
| 42 | 3 | 4 | 14 | 4 | 10 | 0 |
| 43 | 4 | 4 | 14 | 4 | 10 | 0 |
| 44 | 7 | 7 | 14 | 7 | 7 | 0 |
| 45 | 9 | 9 | 14 | 9 | 5 | 0 |
| 46 | 11 | 11 | 14 | 11 | 3 | 0 |
| 47 | 13 | 13 | 14 | 13 | 1 | 0 |
| 48 | 15 | 15 | 14 | 14 | 0 | 1 |
| 49 | 17 | 18 | 14 | 14 | 0 | 3 |
| 50 | 19 | 22 | 14 | 14 | 0 | 5 |
| 51 | 21 | 26 | 14 | 14 | 0 | 7 |
| 52 | 24 | 31 | 14 | 14 | 0 | 10 |
| | 715 | | 728 | | 169 | 159 |

Tabla 6. Comparación de los costos usando los tres modelos presentados

| Actualmente | Propuesta pero con Markov | Modelo EOQ con faltantes con el dato de Markov |
|-------------|---------------------------|--|
| 28,025 | 28,321.49 | 27,504.01 |

REPUESTO 8

Tabla 1. Comportamiento de la demanda del repuesto 8, año 2016

| SEMANA | COMPRA | DISPONI | DEMAN | VENTA | ESCASE | INVENTARI |
|--------------|------------|---------|-------|-------|-----------|------------|
| 1 | 12 | 12 | 3 | 3 | 0 | 9 |
| 2 | 3 | 12 | 5 | 5 | 0 | 7 |
| 3 | 4 | 11 | 6 | 6 | 0 | 5 |
| 4 | 6 | 11 | 7 | 7 | 0 | 4 |
| 5 | 7 | 11 | 8 | 8 | 0 | 3 |
| 6 | 8 | 11 | 9 | 9 | 0 | 2 |
| 7 | 9 | 11 | 11 | 11 | 0 | 0 |
| 8 | 10 | 10 | 13 | 10 | 3 | 0 |
| 9 | 12 | 12 | 15 | 12 | 3 | 0 |
| 10 | 14 | 14 | 17 | 14 | 3 | 0 |
| 11 | 16 | 16 | 19 | 16 | 3 | 0 |
| 12 | 18 | 18 | 23 | 18 | 5 | 0 |
| 13 | 21 | 21 | 25 | 21 | 4 | 0 |
| 14 | 24 | 24 | 3 | 3 | 0 | 21 |
| 15 | 14 | 35 | 5 | 5 | 0 | 30 |
| 16 | 4 | 34 | 6 | 6 | 0 | 28 |
| 17 | 6 | 34 | 7 | 7 | 0 | 27 |
| 18 | 7 | 34 | 8 | 8 | 0 | 26 |
| 19 | 8 | 34 | 9 | 9 | 0 | 25 |
| 20 | 9 | 34 | 11 | 11 | 0 | 23 |
| 21 | 10 | 33 | 13 | 13 | 0 | 20 |
| 22 | 12 | 32 | 15 | 15 | 0 | 17 |
| 23 | 14 | 31 | 17 | 17 | 0 | 14 |
| 24 | 16 | 30 | 19 | 19 | 0 | 11 |
| 25 | 18 | 29 | 23 | 23 | 0 | 6 |
| 26 | 21 | 27 | 25 | 25 | 0 | 2 |
| 27 | 24 | 26 | 25 | 25 | 0 | 1 |
| 28 | 25 | 26 | 23 | 23 | 0 | 3 |
| 29 | 24 | 27 | 19 | 19 | 0 | 8 |
| 30 | 21 | 29 | 17 | 17 | 0 | 12 |
| 31 | 18 | 30 | 15 | 15 | 0 | 15 |
| 32 | 16 | 31 | 13 | 13 | 0 | 18 |
| 33 | 14 | 32 | 11 | 11 | 0 | 21 |
| 34 | 12 | 33 | 9 | 9 | 0 | 24 |
| 35 | 10 | 34 | 8 | 8 | 0 | 26 |
| 36 | 9 | 35 | 7 | 7 | 0 | 28 |
| 37 | 8 | 36 | 6 | 6 | 0 | 30 |
| 38 | 7 | 37 | 5 | 5 | 0 | 32 |
| 39 | 6 | 38 | 3 | 3 | 0 | 35 |
| 40 | 4 | 39 | 25 | 25 | 0 | 14 |
| 41 | 14 | 28 | 23 | 23 | 0 | 5 |
| 42 | 24 | 29 | 19 | 19 | 0 | 10 |
| 43 | 21 | 31 | 17 | 17 | 0 | 14 |
| 44 | 18 | 32 | 15 | 15 | 0 | 17 |
| 45 | 16 | 33 | 13 | 13 | 0 | 20 |
| 46 | 14 | 34 | 11 | 11 | 0 | 23 |
| 47 | 12 | 35 | 9 | 9 | 0 | 26 |
| 48 | 10 | 36 | 8 | 8 | 0 | 28 |
| 49 | 9 | 37 | 7 | 7 | 0 | 30 |
| 50 | 8 | 38 | 6 | 6 | 0 | 32 |
| 51 | 7 | 39 | 5 | 5 | 0 | 34 |
| 52 | 6 | 40 | 3 | 3 | 0 | 37 |
| Total | 660 | | | | 21 | 823 |

Tabla 2. Elaboración de la matriz con los 13 estados

| | 3 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 | 23 | 25 | |
|----|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 3 | | 2 | | | | | | | | | | | 1 | 3 |
| 5 | 2 | | 2 | | | | | | | | | | | 4 |
| 6 | | 2 | | 2 | | | | | | | | | | 4 |
| 7 | | | 2 | | 2 | | | | | | | | | 4 |
| 8 | | | | 2 | | 2 | | | | | | | | 4 |
| 9 | | | | | 2 | | 2 | | | | | | | 4 |
| 11 | | | | | | 2 | | 2 | | | | | | 4 |
| 13 | | | | | | | 2 | | 2 | | | | | 4 |
| 15 | | | | | | | | 2 | | 2 | | | | 4 |
| 17 | | | | | | | | | 2 | | 2 | | | 4 |
| 19 | | | | | | | | | | 2 | | 2 | | 4 |
| 23 | | | | | | | | | | | 2 | | 2 | 4 |
| 25 | 1 | | | | | | | | | | | 2 | 1 | 4 |
| | | | | | | | | | | | | | | 51 |

Tabla 3. Elaboración de la Matriz Ergodica

| | 3 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 | 23 | 25 |
|----|------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------|
| 3 | 0 | 0.66666667 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.33333333 |
| 5 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0 |
| 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 |
| 23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 |
| 25 | 0.25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0.25 |

Matriz de Estado estable

Tabla 4. Matriz con $m=13$ y $n=7$ para el repuesto 8

| | 3 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 | 23 | 25 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 3 | 0.06 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 |
| 5 | 0.06 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 |
| 6 | 0.06 | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 |
| 7 | 0.06 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 |
| 8 | 0.06 | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 |
| 9 | 0.06 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 |
| 11 | 0.06 | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 |
| 13 | 0.06 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 |
| 15 | 0.06 | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 |
| 17 | 0.06 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 |
| 19 | 0.06 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 |
| 23 | 0.06 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 |
| 25 | 0.06 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 |

Tabla 5. Simulación con una demanda promedio de 13 según Markov para el
respuesta 8

| SEMANA | COMPRA | DISPONIBLE | DEMANDA | VENTA | ESCASEZ | INVENTARIO |
|--------|--------|------------|------------|-------|------------|------------|
| 1 | 12 | 12 | 13 | 12 | 1 | 0 |
| 2 | 3 | 3 | 13 | 3 | 10 | 0 |
| 3 | 4 | 4 | 13 | 4 | 9 | 0 |
| 4 | 6 | 6 | 13 | 6 | 7 | 0 |
| 5 | 7 | 7 | 13 | 7 | 6 | 0 |
| 6 | 8 | 8 | 13 | 8 | 5 | 0 |
| 7 | 9 | 9 | 13 | 9 | 4 | 0 |
| 8 | 10 | 10 | 13 | 10 | 3 | 0 |
| 9 | 12 | 12 | 13 | 12 | 1 | 0 |
| 10 | 14 | 14 | 13 | 13 | 0 | 1 |
| 11 | 16 | 17 | 13 | 13 | 0 | 3 |
| 12 | 18 | 21 | 13 | 13 | 0 | 5 |
| 13 | 21 | 26 | 13 | 13 | 0 | 8 |
| 14 | 24 | 32 | 13 | 13 | 0 | 11 |
| 15 | 14 | 25 | 13 | 13 | 0 | 1 |
| 16 | 4 | 5 | 13 | 5 | 8 | 0 |
| 17 | 6 | 6 | 13 | 6 | 7 | 0 |
| 18 | 7 | 7 | 13 | 7 | 6 | 0 |
| 19 | 8 | 8 | 13 | 8 | 5 | 0 |
| 20 | 9 | 9 | 13 | 9 | 4 | 0 |
| 21 | 10 | 10 | 13 | 10 | 3 | 0 |
| 22 | 12 | 12 | 13 | 12 | 1 | 0 |
| 23 | 14 | 14 | 13 | 13 | 0 | 1 |
| 24 | 16 | 17 | 13 | 13 | 0 | 3 |
| 25 | 18 | 21 | 13 | 13 | 0 | 5 |
| 26 | 21 | 26 | 13 | 13 | 0 | 8 |
| 27 | 24 | 32 | 13 | 13 | 0 | 11 |
| 28 | 25 | 36 | 13 | 13 | 0 | 12 |
| 29 | 24 | 36 | 13 | 13 | 0 | 11 |
| 30 | 21 | 32 | 13 | 13 | 0 | 8 |
| 31 | 18 | 26 | 13 | 13 | 0 | 5 |
| 32 | 16 | 21 | 13 | 13 | 0 | 3 |
| 33 | 14 | 17 | 13 | 13 | 0 | 1 |
| 34 | 12 | 13 | 13 | 13 | 0 | 0 |
| 35 | 10 | 10 | 13 | 10 | 3 | 0 |
| 36 | 9 | 9 | 13 | 9 | 4 | 0 |
| 37 | 8 | 8 | 13 | 8 | 5 | 0 |
| 38 | 7 | 7 | 13 | 7 | 6 | 0 |
| 39 | 6 | 6 | 13 | 6 | 7 | 0 |
| 40 | 4 | 4 | 13 | 4 | 9 | 0 |
| 41 | 14 | 14 | 13 | 13 | 0 | 1 |
| 42 | 24 | 25 | 13 | 13 | 0 | 11 |
| 43 | 21 | 32 | 13 | 13 | 0 | 8 |
| 44 | 18 | 26 | 13 | 13 | 0 | 5 |
| 45 | 16 | 21 | 13 | 13 | 0 | 3 |
| 46 | 14 | 17 | 13 | 13 | 0 | 1 |
| 47 | 12 | 13 | 13 | 13 | 0 | 0 |
| 48 | 10 | 10 | 13 | 10 | 3 | 0 |
| 49 | 9 | 9 | 13 | 9 | 4 | 0 |
| 50 | 8 | 8 | 13 | 8 | 5 | 0 |
| 51 | 7 | 7 | 13 | 7 | 6 | 0 |
| 52 | 6 | 6 | 13 | 6 | 7 | 0 |
| | 660 | | 676 | | 139 | 126 |

Tabla 6. Comparación de los costos usando los tres modelos presentados

| Actualmente | Propuesta pero con Markov | Modelo EOQ con faltantes con el dato de Markov |
|-------------|---------------------------|--|
| 43,345.47 | 43,208.14 | 43,301.76 |

REPUESTO 13

Tabla 1. Comportamiento de la demanda del repuesto 13, año 2016

| SEMANAS | COMPRA | RESPONDI | DEMANDA | VENTA | ESCASEZ | INVENTARIO |
|--------------|------------|----------|---------|-------|----------|------------|
| 1 | 10 | 10 | 6 | 6 | 0 | 4 |
| 2 | 6 | 10 | 7 | 7 | 0 | 3 |
| 3 | 7 | 10 | 8 | 8 | 0 | 2 |
| 4 | 8 | 10 | 9 | 9 | 0 | 1 |
| 5 | 9 | 10 | 10 | 10 | 0 | 0 |
| 6 | 10 | 10 | 11 | 10 | 1 | 0 |
| 7 | 11 | 11 | 13 | 11 | 2 | 0 |
| 8 | 12 | 12 | 14 | 12 | 2 | 0 |
| 9 | 14 | 14 | 14 | 14 | 0 | 0 |
| 10 | 14 | 14 | 13 | 13 | 0 | 1 |
| 11 | 14 | 15 | 11 | 11 | 0 | 4 |
| 12 | 12 | 16 | 10 | 10 | 0 | 6 |
| 13 | 11 | 17 | 9 | 9 | 0 | 8 |
| 14 | 10 | 18 | 8 | 8 | 0 | 10 |
| 15 | 9 | 19 | 7 | 7 | 0 | 12 |
| 16 | 8 | 20 | 6 | 6 | 0 | 14 |
| 17 | 7 | 21 | 5 | 5 | 0 | 16 |
| 18 | 6 | 22 | 4 | 4 | 0 | 18 |
| 19 | 5 | 23 | 3 | 3 | 0 | 20 |
| 20 | 4 | 24 | 2 | 2 | 0 | 22 |
| 21 | 3 | 25 | 3 | 3 | 0 | 22 |
| 22 | 3 | 25 | 4 | 4 | 0 | 21 |
| 23 | 4 | 25 | 5 | 5 | 0 | 20 |
| 24 | 5 | 25 | 6 | 6 | 0 | 19 |
| 25 | 6 | 25 | 7 | 7 | 0 | 18 |
| 26 | 7 | 25 | 8 | 8 | 0 | 17 |
| 27 | 8 | 25 | 9 | 9 | 0 | 16 |
| 28 | 9 | 25 | 10 | 10 | 0 | 15 |
| 29 | 10 | 25 | 11 | 11 | 0 | 14 |
| 30 | 11 | 25 | 13 | 13 | 0 | 12 |
| 31 | 12 | 24 | 14 | 14 | 0 | 10 |
| 32 | 14 | 24 | 10 | 10 | 0 | 14 |
| 33 | 12 | 26 | 9 | 9 | 0 | 17 |
| 34 | 10 | 27 | 8 | 8 | 0 | 19 |
| 35 | 9 | 28 | 7 | 7 | 0 | 21 |
| 36 | 8 | 29 | 6 | 6 | 0 | 23 |
| 37 | 7 | 30 | 5 | 5 | 0 | 25 |
| 38 | 6 | 31 | 4 | 4 | 0 | 27 |
| 39 | 5 | 32 | 3 | 3 | 0 | 29 |
| 40 | 4 | 33 | 2 | 2 | 0 | 31 |
| 41 | 3 | 34 | 1 | 1 | 0 | 33 |
| 42 | 2 | 35 | 1 | 1 | 0 | 34 |
| 43 | 1 | 35 | 2 | 2 | 0 | 33 |
| 44 | 2 | 35 | 3 | 3 | 0 | 32 |
| 45 | 3 | 35 | 4 | 4 | 0 | 31 |
| 46 | 4 | 35 | 5 | 5 | 0 | 30 |
| 47 | 5 | 35 | 6 | 6 | 0 | 29 |
| 48 | 6 | 35 | 7 | 7 | 0 | 28 |
| 49 | 7 | 35 | 8 | 8 | 0 | 27 |
| 50 | 8 | 35 | 9 | 9 | 0 | 26 |
| 51 | 9 | 35 | 10 | 10 | 0 | 25 |
| 52 | 10 | 35 | 11 | 11 | 0 | 24 |
| Total | 400 | | | | 5 | 883 |

Tabla 2. Elaboración de la matriz con los 13 estados

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 13 | 14 | |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|
| 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | 2 |
| 2 | 1 | | 2 | | | | | | | | | | | 3 |
| 3 | | 2 | | 2 | | | | | | | | | | 4 |
| 4 | | | 2 | | 2 | | | | | | | | | 4 |
| 5 | | | | 2 | | 2 | | | | | | | | 4 |
| 6 | | | | | 2 | | 3 | | | | | | | 5 |
| 7 | | | | | | 2 | | 3 | | | | | | 5 |
| 8 | | | | | | | 2 | | 3 | | | | | 5 |
| 9 | | | | | | | | 2 | | 3 | | | | 5 |
| 10 | | | | | | | | | 2 | | 3 | | | 5 |
| 11 | | | | | | | | | | 1 | | 2 | | 3 |
| 13 | | | | | | | | | | | 1 | | 2 | 3 |
| 14 | | | | | | | | | | 1 | | 1 | 1 | 3 |
| | | | | | | | | | | | | | | 51 |

Tabla 3. Elaboración de la Matriz Ergodica

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 13 | 14 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 0.50 | 0.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 0.33 | 0.00 | 0.67 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 3 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 0.00 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.40 | 0.00 | 0.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.40 | 0.00 | 0.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.40 | 0.00 | 0.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.40 | 0.00 | 0.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.40 | 0.00 | 0.60 | 0.00 | 0.00 |
| 11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.33 | 0.00 | 0.67 | 0.00 |
| 13 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.33 | 0.00 | 0.67 |
| 14 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.33 | 0.00 | 0.33 | 0.33 |

Matriz de Estado estable

Tabla 4. Matriz con $m=13$ y $n=7$ para el repuesto 13

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 13 | 14 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.07 | 0.11 | 0.16 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 2 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.07 | 0.11 | 0.17 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 3 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.07 | 0.11 | 0.16 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 4 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.07 | 0.11 | 0.17 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 5 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.07 | 0.11 | 0.17 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 6 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.07 | 0.11 | 0.17 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 7 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.07 | 0.11 | 0.17 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 8 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.07 | 0.11 | 0.17 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 9 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.07 | 0.11 | 0.17 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 10 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.07 | 0.11 | 0.17 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 11 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.07 | 0.11 | 0.17 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 13 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.07 | 0.11 | 0.17 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 14 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.07 | 0.11 | 0.17 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |

Tabla 5. Simulación con una demanda promedio de 10 según Markov para el
respuesta 13

| SEMANA | COMPRA | DISPONIBLE | DEMANDA | VENTA | ESCASEZ | INVENTARIO |
|--------|--------|------------|---------|-------|---------|------------|
| 1 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 | 0 |
| 2 | 6 | 6 | 10 | 6 | 4 | 0 |
| 3 | 7 | 7 | 10 | 7 | 3 | 0 |
| 4 | 8 | 8 | 10 | 8 | 2 | 0 |
| 5 | 9 | 9 | 10 | 9 | 1 | 0 |
| 6 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 | 0 |
| 7 | 11 | 11 | 10 | 10 | 0 | 1 |
| 8 | 12 | 13 | 10 | 10 | 0 | 2 |
| 9 | 14 | 16 | 10 | 10 | 0 | 4 |
| 10 | 14 | 18 | 10 | 10 | 0 | 4 |
| 11 | 14 | 18 | 10 | 10 | 0 | 4 |
| 12 | 12 | 16 | 10 | 10 | 0 | 2 |
| 13 | 11 | 13 | 10 | 10 | 0 | 1 |
| 14 | 10 | 11 | 10 | 10 | 0 | 0 |
| 15 | 9 | 9 | 10 | 9 | 1 | 0 |
| 16 | 8 | 8 | 10 | 8 | 2 | 0 |
| 17 | 7 | 7 | 10 | 7 | 3 | 0 |
| 18 | 6 | 6 | 10 | 6 | 4 | 0 |
| 19 | 5 | 5 | 10 | 5 | 5 | 0 |
| 20 | 4 | 4 | 10 | 4 | 6 | 0 |
| 21 | 3 | 3 | 10 | 3 | 7 | 0 |
| 22 | 3 | 3 | 10 | 3 | 7 | 0 |
| 23 | 4 | 4 | 10 | 4 | 6 | 0 |
| 24 | 5 | 5 | 10 | 5 | 5 | 0 |
| 25 | 6 | 6 | 10 | 6 | 4 | 0 |
| 26 | 7 | 7 | 10 | 7 | 3 | 0 |
| 27 | 8 | 8 | 10 | 8 | 2 | 0 |
| 28 | 9 | 9 | 10 | 9 | 1 | 0 |
| 29 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 | 0 |
| 30 | 11 | 11 | 10 | 10 | 0 | 1 |
| 31 | 12 | 13 | 10 | 10 | 0 | 2 |
| 32 | 14 | 16 | 10 | 10 | 0 | 4 |
| 33 | 12 | 16 | 10 | 10 | 0 | 2 |
| 34 | 10 | 12 | 10 | 10 | 0 | 0 |
| 35 | 9 | 9 | 10 | 9 | 1 | 0 |
| 36 | 8 | 8 | 10 | 8 | 2 | 0 |
| 37 | 7 | 7 | 10 | 7 | 3 | 0 |
| 38 | 6 | 6 | 10 | 6 | 4 | 0 |
| 39 | 5 | 5 | 10 | 5 | 5 | 0 |
| 40 | 4 | 4 | 10 | 4 | 6 | 0 |
| 41 | 3 | 3 | 10 | 3 | 7 | 0 |
| 42 | 2 | 2 | 10 | 2 | 8 | 0 |
| 43 | 1 | 1 | 10 | 1 | 9 | 0 |
| 44 | 2 | 2 | 10 | 2 | 8 | 0 |
| 45 | 3 | 3 | 10 | 3 | 7 | 0 |
| 46 | 4 | 4 | 10 | 4 | 6 | 0 |
| 47 | 5 | 5 | 10 | 5 | 5 | 0 |
| 48 | 6 | 6 | 10 | 6 | 4 | 0 |
| 49 | 7 | 7 | 10 | 7 | 3 | 0 |
| 50 | 8 | 8 | 10 | 8 | 2 | 0 |
| 51 | 9 | 9 | 10 | 9 | 1 | 0 |
| 52 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 | 0 |
| | 400 | | 520 | | 147 | 27 |

Tabla 6. Comparación de los costos usando los tres modelos presentados

| Actualmente | Propuesta pero con Markov | Modelo EOQ con faltantes con el dato de Markov |
|-------------|---------------------------|--|
| 39,287.08 | 38,344.52 | 48,269.09 |

Anexo 5: Encuesta de Matriz de Priorización

ENCUESTA DE MATRIZ DE PRIORIZACIÓN

Área Logística

Problema: Paradas inesperadas de los tracto camiones

Nombre: _____ **Área:** _____

Marque con una "X" según su criterio de significancia de causa en el Problema.

| Valorización | Puntaje |
|--------------|---------|
| Alto | 5 |
| Regular | 3 |
| Bajo | 1 |

EN LAS SIGUIENTES CAUSAS CONSIDERE EL NIVEL DE PRIORIDAD DE LA RENTABILIDAD LA EMPRESA:

CAUSA () ALTO () MEDIO () BAJO

| Causa | Preguntas con Respecto a las Principales Causas | Calificación | | |
|-------|--|--------------|-------|------|
| | | Alto | Medio | Bajo |
| Cr10 | Falta de control de repuestos por ausencia de formatos | | | |
| Cr11 | No se cuenta con una adecuada gestión de inventarios | | | |
| Cr8 | Falta de indicadores de control de inventarios | | | |

ENCUESTA DE MATRIZ DE PRIORIZACIÓN

Área **Mantenimiento**

Problema: Paradas inesperadas de los tracto camiones

Nombre: _____ **Área:** _____

Marque con una "X" según su criterio de significancia de causa en el Problema.

| Valorización | Puntaje |
|--------------|---------|
| Alto | 5 |
| Regular | 3 |
| Bajo | 1 |

EN LAS SIGUIENTES CAUSAS CONSIDERE EL NIVEL DE PRIORIDAD DE LA RENTABILIDAD LA EMPRESA:
CAUSA () ALTO () MEDIO () BAJO

| Causa | Preguntas con Respecto a las Principales Causas | Calificación | | |
|-------------|---|--------------|-------|------|
| | | Alto | Medio | Bajo |
| Cr4 | Elevadas paradas por fallas eléctricas | | | |
| Cr5 | Elevadas paradas por fallas mecánicas | | | |
| Cr12 | Falta de stock de repuestos por demanda aleatoria | | | |