

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN FINANCIERA**



**PROPUESTA DE METODOLOGÍA BASADA EN LA CONFIABILIDAD, PARA LA
ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS DE REPUESTOS, EN LA INDUSTRIA
MANUFACTURERA DE EMPAQUES Y ENVASES PARA PRODUCTOS
ALIMENTICIOS, EN EL MUNICIPIO DE GUATEMALA**

ING. ESTUARDO MARIO LÓPEZ MAZARIEGOS

GUATEMALA, JUNIO DE 2019

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN FINANCIERA**

**PROPUESTA DE METODOLOGÍA BASADA EN LA CONFIABILIDAD, PARA LA
ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS DE REPUESTOS, EN LA INDUSTRIA
MANUFACTURERA DE EMPAQUES Y ENVASES PARA PRODUCTOS
ALIMENTICIOS, EN EL MUNICIPIO DE GUATEMALA**

Informe final de tesis para la obtención del Grado de Maestro en Ciencias, con base en el "Normativo de Tesis para Optar al Grado de Maestro en Ciencias", actualizado y aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ciencias Económicas, en la resolución contenida en el Numeral 6.1, Punto SEXTO del Acta 15-2009 de la sesión celebrada el 14 de julio de 2009.

AUTOR:

ING. ESTUARDO MARIO LÓPEZ MAZARIEGOS

ASESOR:

MSc. RODRIGO ESTUARDO HERRERA GALINDO

GUATEMALA, JUNIO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
HONORABLE JUNTA DIRECTIVA

Decano: Lic. Luis Antonio Suárez Roldán
Secretario: Lic. Carlos Roberto Cabrera Morales
Vocal primero: Lic. Carlos Alberto Hernández Gálvez
Vocal Segundo: MSc. Byron Giovanni Mejía Victorio
Vocal Tercero: Vacante
Vocal Cuarto: Br. CC. LL. Silvia María Oviedo Zacarías
Vocal Quinto: P.C. Omar Oswaldo García Matzuy

JURADO EXAMINADOR QUE PRACTICÓ EL EXAMEN PRIVADO DE TESIS
SEGÚN EL ACTA CORRESPONDIENTE

Presidente: Dr. José Alberto Ramírez Crespín
Secretario: MSC. Hugo Armando Mérida Pineda
Examinador: MSc. Armando Melgar Retolaza

ACTA/EP No. **0596**

ACTA No. 53-2018

En el Salón No. **3** del Edificio S-11 de la Escuela de Estudios de Postgrado, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de San Carlos de Guatemala, nos reunimos los infrascritos miembros del Jurado Examinador, el **19 de noviembre** de 2018, a las **18:00** horas para practicar el **EXAMEN GENERAL DE TESIS** del Ingeniero Mecánico **Estuardo Mario López Mazariegos**, carné No. **200212029**, estudiante de la Maestría en Administración Financiera de la Escuela de Estudios de Postgrado, como requisito para optar al grado de Maestro en Administración Financiera. El examen se realizó de acuerdo con el normativo de Tesis, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ciencias Económicas en el numeral 6.1, Punto SEXTO del Acta 15-2009 de la sesión celebrada el 14 de julio de 2009.

Cada examinador evaluó de manera oral los elementos técnico-formales y de contenido científico profesional del informe final presentado por el sustentante, denominado "**PROPUESTA DE METODOLOGÍA BASADA EN LA CONFIABILIDAD, PARA LA ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS DE REPUESTOS, EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE EMPAQUES Y ENVASES PARA PRODUCTOS ALIMENTICIOS, EN EL MUNICIPIO DE GUATEMALA**", dejando constancia de lo actuado en las hojas de factores de evaluación proporcionadas por la Escuela. El examen fue **APROBADO** con una nota promedio de **76** puntos, obtenida de las calificaciones asignadas por cada integrante del jurado examinador. El Tribunal hace las siguientes recomendaciones: Que el sustentante incorpore las enmiendas señaladas dentro de los 30 días calendario.

En fe de lo cual firmamos la presente acta en la Ciudad de Guatemala, a los diecinueve días del mes de noviembre del año dos mil dieciocho.



Dr. José Alberto Ramírez Crespin
Presidente



MSc. Hugo Armando Merida Pineda
Secretario



MSc. Armando Melgar Retolaza
Vocal I



Ing. Estuardo Mario López Mazariegos
Postulante



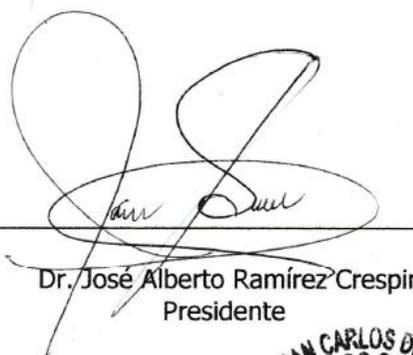
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

ADENDUM

El infrascrito Presidente del Jurado Examinador CERTIFICA que el estudiante Estuardo Mario López Mazariegos, incorporó los cambios y enmiendas sugeridas por cada miembro examinador del Jurado.

Guatemala, 9 de enero de 2019.

(f)



Dr. José Alberto Ramírez Crespín
Presidente





J.D-TG. No. 0188-2019
Guatemala, 22 de Febrero de 2019

Estudiante
Estuardo Mario López Mazariegos
Facultad de Ciencias Económicas
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estudiante:

Para su conocimiento y efectos le transcribo el Punto Quinto, inciso 5.1, subinciso 5.1.1 del Acta 02-2019, de la sesión celebrada por Junta Directiva el 18 de febrero de 2019, que en su parte conducente dice:

"QUINTO: ASUNTOS ESTUDIANTILES

5.1 Graduaciones

5.1.1 Elaboración y Examen de Tesis

Se tienen a la vista providencias y oficios de las Direcciones de Escuela de Contaduría Pública y Auditoría y de Estudios de Postgrado; documentos en los que se informa que los estudiantes que se listan a continuación, aprobaron el Examen de Tesis, por lo que se trasladan las Actas de los Jurados Examinadores de Tesis y expedientes académicos.

Junta Directiva acuerda: 1º. Aprobar las Actas de los Jurados Examinadores de Tesis. 2º. Autorizar la impresión de tesis y la graduación a los siguientes estudiantes:

Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Administración Financiera

...

Estuardo Mario López Mazariegos	200212029	PROPUESTA DE METODOLOGÍA BASADA EN LA CONFIABILIDAD, PARA LA ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS DE REPUESTOS, EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE EMPAQUES Y ENVASES PARA PRODUCTOS ALIMENTICIOS, EN EL MUNICIPIO DE GUATEMALA
---------------------------------	-----------	--

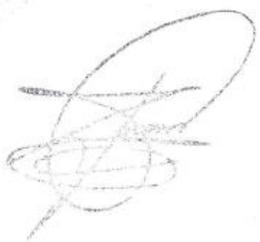
3o. Manifiestar a los estudiantes que se les fija un plazo de seis meses para su graduación".

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


LIC. CARLOS ROBERTO CABRERA MORALES
SECRETARIO



m.ch



AGRADECIMIENTOS

- A DIOS:** Por brindarme entendimiento para alcanzar mis metas establecidas.
- A MIS PADRES:** Mario y Leticia por apoyarme y creer en mí.
- A MI ESPOSA:** Vilma por ser un apoyo incondicional durante mi estudio de la maestría.
- A MIS HIJAS:** Camila y Lourdes por ser mi fuente de inspiración para continuar con mis estudios.
- A MI HERMANO Y FAMILIA:** Jorge, Diana y Diego por apoyar a mi familia y estar presentes cuando los necesitaba.
- A MIS AMIGOS:** Daniel, Héctor, Cynthia y Karina por apoyarme durante los cursos de la maestría.
- A LA ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO:** Por permitirme estudiar y aprender de catedráticos profesionales con amplios conocimientos en los cursos impartidos.
- A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA:** Por ser la casa de estudios en donde mi formación académica se ha desarrollado.

CONTENIDO

RESUMEN	i
INTRODUCCIÓN	iii
1. ANTECEDENTES DE LA ADMINISTRACIÓN DEL INVENTARIO DE REPUESTOS.....	1
1.1 Historia de los empaques y envases para alimentos	1
1.2 Empresas que manufacturan empaques y envases para productos alimenticios	1
1.3 Gestión del inventario de repuestos	2
1.4 Repuestos industriales	4
1.5 Principales empresas que manufacturan empaques y envases de papel o cartón para productos alimenticios en el municipio de Guatemala	5
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1 Empaques y envases.....	7
2.1.1 Clasificación de empaques y envases.....	7
2.1.2 Tipos de envases	8
2.1.3 Clasificación de los envases por su vida útil.....	9
2.1.4 Funciones del envase y embalaje	9
2.2 Repuestos basados en la confiabilidad.....	11

2.2.1	Que es el RCS (Repuestos basado en la Confiabilidad)	11
2.2.2	Cumplir con el programa de mantenimiento	13
2.2.3	Gestión del Riesgo	13
2.3	Los inventarios en las empresas manufactureras, su tratamiento y su valoración. Una mirada desde la contabilidad de costos	14
2.3.1	Introducción a la valoración del Inventario	14
2.3.2	Costos de los inventarios	16
2.4	Propuesta de modelo matemático para la implementación de la metodología de confiabilidad optimización costo riesgo de inventarios.....	19
2.4.1	Definiciones	20
2.4.2	Bases teóricas estadísticas	23
2.4.3	Modelo Optimización Costo Riesgo Inventario (OCRI)	31
2.4.4	Procedimiento metodológico para la implementación de la metodología del modelo Optimización Costo Riesgo Inventario (OCRI)	33
2.4.5	Beneficios de la implementación de la metodología OCRI	51
2.5	Método y técnicas.....	53
2.5.1	Método científico	53
2.5.2	Técnicas de investigación documental	54
2.5.3	Técnicas de investigación de campo.....	54

3.	METODOLOGÍA.....	55
3.1	Definición del problema	55
3.2	Objetivos	57
3.2.1	Objetivo general.....	57
3.2.2	Objetivos específicos	57
3.3	Hipótesis.....	58
3.3.1	Especificación de variables	58
3.4	Método científico	59
3.5	Técnicas de investigación aplicadas	59
3.5.1	Técnicas de investigación documental	59
3.5.2	Técnicas de investigación de campo.....	60
3.5.3	Análisis de escenarios	61
4.	EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN DE ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS DE REPUESTOS EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE EMPAQUES Y ENVASES DE PAPEL O CARTÓN PARA PRODUCTOS ALIMENTICIOS.....	62
4.1	Situación financiera.....	62
4.2	Costos de operación	64
4.3	Liquidez	65
4.4	Costo del inventario de repuestos	66

4.4.1	Análisis Horizontal del inventario de repuestos	67
4.5	Rotación del Inventario	68
4.6	Días de inventario de repuestos.....	69
4.7	Clasificación de repuestos de rápido, regular y lento movimiento, por su valor monetario	70
4.8	Clasificación de repuestos críticos y no críticos según valor en quetzales e importancia en los equipos	71
4.9	Tiempos de importación de repuestos	75
5.	DISEÑO DE LA PROPUESTA DE LA METODOLOGÍA BASADA EN LA CONFIABILIDAD PARA LA ADMINISTRACIÓN DEL INVENTARIO DE REPUESTOS.....	76
5.1	Levantamiento del listado de repuestos a analizar	76
5.1.1	Identificación de repuestos dentro del inventario	77
5.2	Búsqueda de la información histórica y técnica de cada repuesto a analizar	78
5.2.1	Identificación temprana de un problema en un equipo	79
5.2.2	Determinar la frecuencia de uso de cada repuesto a analizar	80
5.3	Creación de la base de datos del repuesto con varias fuentes de información	81
5.3.1	Costos relacionados con los repuestos	82
5.4	Aplicación del modelo matemático	85

5.4.1	Determinación de la curva de costos total	85
5.4.2	Modelo matemático para el stock de seguridad	91
5.4.3	Modelo matemático para determinar el tiempo entre pedidos	93
5.5	Simulaciones de escenarios para determinar el nivel de confianza del modelo matemático	94
5.5.1	Resultados de la simulación, utilizando el stock óptimo de repuesto.....	94
5.5.2	Ingreso de variables en el software Crystal Ball.....	95
5.5.3	Variables sensibles resultantes de la simulación.....	99
5.5.4	Simulación con todos los posibles valores del número de repuestos para determinar la probabilidad de ocurrencia con relación al costo total	100
6.	RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA	102
6.1	Análisis evaluativo de la situación histórica y actual, de la administración de inventarios de repuestos, en las empresas manufactureras de empaques y envases para productos alimenticios.....	102
6.2	Beneficios del uso de la metodología basada en la confiabilidad para la administración del inventario de repuestos	103
6.3	Hipótesis planteada al aplicar la metodología para la administración de inventarios en las empresas manufactureras de empaques y envases para productos alimenticios	105
6.3.1	Situación financiera proyectada para los años 2018, 2019 y 2020	105

6.3.2	Costos de operación proyectado para los años 2018, 2019 y 2020 ...	106
6.3.3	Liquidez proyectada para los años 2018, 2019 y 2020	107
6.3.4	Costo del Inventario de repuestos proyectado para los años 2018, 2019 y 2020.....	108
6.3.5	Análisis Horizontal del inventario de repuestos proyectado para los años 2018, 2019 y 2020	109
6.3.6	Rotación del inventario proyectado para los años 2018, 2019 y 2020.....	110
6.3.7	Días de inventario de repuestos proyectado para los años 2018, 2019 y 2020.....	111
	CONCLUSIONES	113
	RECOMENDACIONES	115
	BIBLIOGRAFÍA	116
	ANEXOS	122
	ÍNDICE DE CUADROS	128
	ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	131

RESUMEN

En el municipio de Guatemala, el sector de la industria manufacturera de empaques y envases de papel o cartón para productos alimenticios, ha tenido un desempeño importante en la cadena de valor de la industria alimenticia, fabricando productos utilizados como medio de transporte seguro, higiénico, preservando la calidad y características de inocuidad de los alimentos.

El problema de investigación que se ha detectado en el sector de la industria manufacturera de empaques y envases de papel o cartón para productos alimenticios, es la administración del inventario de repuestos para el mantenimiento correctivo o preventivo de la maquinaria, como un inventario de materia prima o insumos de producción. Generalmente, los equipos y maquinaria que fabrican estos empaques, son importados de diferentes países; este tipo de inventario de repuestos requiere un trato diferente al resto de inventarios. Dependiendo de las políticas del departamento de mantenimiento, el inventario de repuestos debe responder a las necesidades y políticas del departamento de mantenimiento, adquirir repuestos sin ninguna política definida, provoca un incremento en el costo del inventario de repuestos y un indicador bajo de rotación del inventario.

La propuesta de solución que se plantea, es la metodología basada en la confiabilidad para la administración de inventarios de repuestos en la industria manufacturera de empaques y envases de papel o cartón para productos alimenticios en el municipio de Guatemala, la cual propone técnicas de análisis para determinar la compra de los repuestos para los equipos y maquinaria industrial, en el momento justo, la cantidad mínima necesaria para contar con ellos y mantener un costo de inventario adecuado a las operaciones y necesidades de la planta de producción.

La presente investigación se realizó con base en la utilización del método científico, el cual permite desarrollar en un orden lógico la determinación de las

causas del problema, la propuesta de solución, con base en el análisis de causa y efecto, manipulando la variable independiente para lograr cambios positivos en las variables dependientes. La información recopilada en la investigación de campo, el análisis técnico y financiero realizado, permitieron la confirmación de la hipótesis planteada, así como la presentación de los resultados de la investigación.

Los resultados más importantes y principales conclusiones de la investigación realizada, se fundamentaron en el análisis de datos y la realización de proyecciones de resultados de los próximos tres años. Se usó como base el año 2017 siendo el último año histórico para determinar el crecimiento del inventario desde el año 2015, obteniendo un crecimiento del 13.75% del año 2016 con respecto al año 2015, un 18.65% del año 2017 con respecto al año 2016, confirmando un crecimiento en cada año evaluado.

La metodología basada en la confiabilidad para la administración de inventarios de repuestos, confirma la reducción del costo del inventario de repuestos; en el último año proyectado 2020 se obtuvo una reducción de 7.00% con respecto al año 2019 proyectado. Los indicadores como la rotación del inventario, indican un valor de 12.33 en el año 2016, 11.12 en el año 2017, se proyecta una rotación del inventario de repuestos de 13.10 para el año 2020. La liquidez mediante el indicador de la prueba ácida, tomando únicamente la cuenta del inventario de repuestos, muestra un valor de 3.04 en el año 2016, un valor de 3.23 en el año 2017, pero en el año 2020 se proyecta un indicador de 3.75

El análisis desarrollado, determina el nivel óptimo de compra del repuesto, siendo una unidad la que muestra el menor costo total, con un valor de Q.130,043.71, al comprar dos o más unidades, reflejando un costo mayor al no tenerlo. Se determina el tiempo entre pedidos de 120 días; por las características del repuesto, se requiere contar con una unidad como stock de seguridad. Lo anterior se determinó a partir de la metodología basada en la confiabilidad.

INTRODUCCIÓN

El sector objeto de estudio en la presente investigación, corresponde a la industria manufacturera de empaques y envases de papel o cartón para productos alimenticios en el municipio de Guatemala, el cual se dedica a la fabricación de empaques primarios que están en contacto directo con alimentos para consumo humano, que permiten prolongar el tiempo de vida de los alimentos. Las industrias que fabrican productos alimenticios, por medio de estos empaques primarios, logran la ampliación del tiempo de vencimiento de los alimentos contenidos en los empaques.

El problema de investigación de interés general que ha enfrentado el sector industrial de manufactura de empaques y envases de papel o cartón para productos alimenticios en el municipio de Guatemala, se refiere a la inadecuada administración del inventario de repuestos de los equipos y maquinarias que fabrican los diferentes tipos de empaques de papel o cartón. La deficiencia en la administración del inventario de repuestos genera costos elevados, debido a la necesidad de contar con la mayor cantidad de repuestos originales, genéricos o equivalentes, para garantizar la existencia al momento de una intervención y reducir el tiempo de paro. Sin embargo, estas condiciones generan costos elevados de las existencias de inventarios de repuestos, baja rotación del inventario, paros prolongados por falta de repuestos, gastos excesivos por compras urgentes, desvío de la atención en tareas críticas por las emergencias ante la falta de repuestos.

La propuesta de solución que se ha planteado, consiste en la aplicación de la metodología basada en la confiabilidad para la administración del inventario de repuestos en bodega, de las empresas que fabrican productos y envases de papel o cartón para productos alimenticios en el municipio de Guatemala. Para la aplicación de esta metodología de repuestos basados en confiabilidad, previamente el departamento de mantenimiento debe contar con las políticas

necesarias para la intervención de sus equipos en tareas planificadas y no planificadas. Al contar con una estrategia definida por parte del área de mantenimiento, el tiempo de requerimiento de la compra, así como las cantidades necesarias reflejan costos acordes al ritmo de producción. Las políticas deben fundamentarse en los manuales del fabricante, así como en el constante aprendizaje de las experiencias específicas en cada situación que obligan a realizar modificaciones en los criterios originales del fabricante.

La justificación que demuestra la importancia y necesidad de la presente investigación, está directamente relacionada con la la necesidad que se tiene en la industria de empaques y envases de papel o cartón para productos alimenticios de realizar una administración del inventario de repuestos, para apoyar el funcionamiento continuo de la planta de producción.

El objetivo general de la investigación en relación directa con el problema principal, se plantea de la siguiente manera:

Diseñar una propuesta de metodología basada en la confiabilidad para la administración del inventario de repuestos, en el sector objeto de estudio.

Los objetivos específicos de la investigación, son los siguientes: evaluar la situación de administración de inventarios de repuestos en la industria manufacturera en el sector objeto de estudio, incluyendo el análisis de la situación financiera, costos de operación, liquidez, costo de inventarios, rotación del inventario, clasificación de repuestos de baja rotación, alta rotación, críticos y no críticos, costos por importación de repuestos y tiempos de despacho por parte del fabricante de repuestos; establecer el comportamiento de la demanda del repuesto, determinar los costos asociados, definir la cantidad mínima de repuestos a solicitar en función del menor costo, concluir el nivel de inventario de seguridad, estimar el tiempo entre pedidos, realizar simulaciones de los posibles escenarios, conocer las variables con mayor sensibilidad y evaluar los resultados, tomando en

consideración las políticas de mantenimiento, metodología de compra, frecuencia de pedido, cantidad, tiempos de transporte, entre otros; comparar los resultados proyectados por la implementación de la metodología para la administración de inventarios de repuestos basado en la confiabilidad, para comprobar los beneficios económicos y confirmar la hipótesis planteada.

La hipótesis expone la propuesta de solución al problema:

La implementación de la metodología en la industria manufacturera mejora la administración del inventario de repuestos.

La presente tesis consta de los siguientes capítulos: el capítulo uno, Antecedentes, expone el marco referencial teórico y empírico de la investigación; el capítulo dos, Marco Teórico, contiene la exposición y análisis las teorías y enfoques teóricos y conceptuales utilizados para fundamentar la investigación y la propuesta de solución al problema; el capítulo tres, Metodología, contiene la explicación en detalle del proceso realizado para resolver el problema de investigación.

El capítulo cuatro, expone los resultados de la evaluación de la situación de la administración de repuestos, incluyendo análisis de costos, liquidez, tendencias, rotaciones, clasificación de repuestos y aspectos de importación; el capítulo cinco, presenta la propuesta metodológica basada en la confiabilidad para la administración del inventario de repuestos; el capítulo seis, realiza un análisis de los resultados previstos de la implementación de la metodología.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones de la investigación realizada.

1. ANTECEDENTES DE LA ADMINISTRACIÓN DEL INVENTARIO DE REPUESTOS

Los antecedentes constituyen el origen del trabajo realizado. Exponen el marco referencial teórico y empírico de la investigación relacionada con la administración de inventarios de repuestos en la industria de manufactura de empaques y envases de papel o cartón para productos alimenticios en el municipio de Guatemala.

1.1 Historia de los empaques y envases para alimentos

El Instituto Nacional de Tecnología Industrial, INTI, (2012) expone: el envase, ha variado con el transcurso del tiempo, tanto en sus materiales que los formaban como en la importancia que alcanzó. En sus inicios, el empaque fue considerado como un contenedor o protector, pero fue evolucionando para mostrar y resaltar la presentación del producto, siendo lo primero que observa el consumidor, esta primera imagen que transmite el empaque, comunica las cualidades, características, así como los beneficios que se obtendrán al consumirlo, llamando al empaque un vendedor silencioso.

Si no se dispusiera de los envases y embalajes, sería imposible comercializar la mayor parte de los productos, complicando su distribución en mercados más diversificados. Existe un principio en el área del desarrollo de los envases y embalajes; este principio indica que no existen envases buenos o malos, solamente enfatiza que un envase será más apropiado que el otro.

1.2 Empresas que manufacturan empaques y envases para productos alimenticios

Duarte (2010), expone que, a lo largo de la historia, las transformaciones de los empaques primarios utilizados en productos alimenticios han coincidido en la reducción del costo y peso en diseños desarrollados, también han surgido mezclas

de materiales como el metal, papel y plástico para aumentar y mejorar las características de los empaques que solo están formados de un solo material. Al incrementar el uso de los empaques para alimentos fabricados de papel, metal y vidrio, aumenta el consumo de alimentos y reduce el desperdicio de estos.

Con el desarrollo de empaques formado por diversos tipos de materiales, paralelamente se desarrollaron industrias especializadas en la fabricación de empaques de múltiples materiales, conllevando también la mejora de máquinas especializadas para transformar los materiales y crear los empaques que cumplirán con el estándar requerido para el almacenamiento de alimentos aprobado en su momento. Las primeras versiones de máquinas y equipos, no demandaban muchas piezas de recambio, sus mecanismos eran básicos y el inventario de repuestos necesario para operar era mínimo.

Con el paso del tiempo, la tecnología fue integrada adaptándose a cada proceso, mejorando las máquinas y equipos que fabrican los empaques y envases para productos alimenticios; así también los requerimientos por parte de los clientes como son los productores de alimentos, han incrementado los niveles de calidad en empaques; esto presentó mejoras en los productos finales. Los alimentos mantienen sus características principales por un mayor tiempo, permitiendo cubrir lugares y abriendo nuevos mercados, sin embargo, esto produjo que el nivel del inventario de repuestos se incrementara y la diversidad de piezas necesarias para mantener los equipos funcionando se ampliara, a puntos en los cuales, las propias administraciones ocasionalmente pierden el control de las cantidades y piezas en existencia.

1.3 Gestión del inventario de repuestos

La administración de los repuestos utilizados en maquinaria y equipo que fabrican empaques y productos de papel o cartón para alimentos en los primeros años de la revolución industrial, podrían manejarse con métodos y técnicas contables tradicionales, sin embargo, esto cambió con la integración de la diversidad de

nuevos materiales y nuevos equipos. Los criterios contables que solicitan rotar el inventario en un menor tiempo no aplican, existen conflictos entre las políticas contables y las políticas de mantenimiento; la contabilidad requiere rotar el inventario de repuestos en el menor tiempo y mantenimiento solicita repuestos que serán requeridos en un futuro no estimado. El mismo avance de la tecnología en los equipos, evoluciona alrededor de cada cinco años, dejando de producir los mismos repuestos alrededor de los 10 años de antigüedad de la máquina; esto ha obligado a las empresas a comprar repuestos que serán descontinuados. En los casos de los repuestos críticos, impedirán el funcionamiento de la máquina o equipo.

Woodhouse (2005), expone que una gran sección de la industria actual se enfoca, como elemento principal la eficiencia para reducir el capital de trabajo, elevando la productividad, pero la mayoría de las veces no se considera el valor real sobre el riesgo al control de los repuestos. El costo de los repuestos en algunas empresas, puede llegar a mostrar un valor alto dentro de los activos y un riesgo alto de no producir al no contar con los repuestos necesarios para la operación.

El almacén, como objetivo principal, debe proporcionar soporte a las tareas realizadas por el departamento de mantenimiento, existiendo mantenimientos programados en las máquinas y paros no programados por fallas en los mismos.

Zylberberg (2006) hace mención, que el objetivo principal del almacén de repuestos, es proveer al departamento de mantenimiento los recursos necesarios para las actividades planeadas y las actividades no planeadas. Lo anterior confirma la política de un inventario de repuestos, el cual, debe responder a la demanda de parte del departamento de mantenimiento, por consiguiente, respondiendo también a la demanda realizada por el departamento de producción. La mayoría de las técnicas y metodologías que se enfocan en la administración del inventario de repuestos como el EOQ (Lote económica de compra), nivel de servicio, entre otras, se enfocaron en el manejo de inventarios de insumos y

materias primas demandados por el departamento de producción y no al comportamiento de la demanda del inventario de repuestos, incurriendo en errores al intentar optimizar el inventario de repuestos como si fueran inventarios de insumos y materias primas de producción; lo anterior no sería tan grave alrededor de 1950, pero en la actualidad sí es significativa una mala administración en el inventario de repuestos.

1.4 Repuestos industriales

Zylberberg (2006) indica que los diferentes cambios por los cuales la industria ha transcurrido, específicamente, en el departamento de mantenimiento, se ha reflejado en el inventario de repuestos. El incremento constante en la automatización de la maquinaria provocada por la búsqueda continua de la eficiencia en los procesos, ha resultado en máquinas más complejas, aumentando el número y variedad de tipos de fallas posibles, presentando un efecto directo en el aumento de repuestos que son necesarios para corregir las fallas.

En la actualidad, los departamentos de producción demandan una mayor disponibilidad en sus equipos, los costos de tener máquinas modernas con altas velocidades de producción detenidas por una falla, conllevan a costos altos por la falta de producción e incumplimiento con los clientes; la reducción del área de almacenamiento en las bodegas de las empresas, ha demandado una coordinación en la producción de empresas que fabrican empaques con las empresas que procesan los productos alimenticios, requiriendo una mayor precisión en la entrega de los empaques acorde a la programación del tipo de alimento a empaçar. La combinación de los factores anteriores, ha incrementado la cantidad de repuestos que deben disponerse dentro del inventario de las empresas.

Zylberberg (2006) comenta sobre los intereses por parte de la gerencia en reducir el capital invertido en el inventario de repuestos, el cual muestra un movimiento lento, solicitando que todo repuesto que no presenta un movimiento menor a dos

años sea retirado del inventario, generando pérdidas por no contar con el repuesto necesario al ser requerido.

Ellmann (sin fecha) expone la importancia de administrar el inventario de repuestos del sector productivo industrial basados en la confiabilidad, no siendo un tema nuevo, sin embargo, no ha sido adoptado en la mayor parte de la industria; en general, este tipo de industria, utiliza controles de niveles de inventario considerando los repuestos como materias primas.

Si la organización no cuenta con una política clara de renovación de activos, se comprarán repuestos que, en su mayoría, no serán instalados, debido a falta de una planeación de sustitución; los departamentos encargados de mantener el stock de repuestos necesarios para la operación de los activos, realizarán compras considerando que es mejor comprar hoy cuando se dispone y no mañana cuando el equipo ya es obsoleto y el fabricante ha dejado de producir piezas de recambio.

1.5 Principales empresas que manufacturan empaques y envases de papel o cartón para productos alimenticios en el municipio de Guatemala

Central de Empaques, es una empresa fundada desde 1981; cuenta con varias plantas para la fabricación de empaques y envases; una de las plantas procesa empaques de papel o cartón que, en su mayoría, son utilizados para alimentos, comercializando sus productos en mercados nacionales e internacionales. Se adquiere materia prima en forma de bobina, la cual es convertida en pliegos, impresa con diseños propios del empaque, y a través de otros procesos, se obtiene la forma final del empaque. (Bolsa de Valores Nacional 2007).

Cajas y Empaques de Guatemala, S. A., fue fundada en 1961; fabrica diferentes tipos de empaques para productos alimenticios empleando como materia prima el tipo de cartón corrugado, por medio de varios procesos, imprimen y dan forma al cartón para obtener los diseños requeridos por los diferentes clientes. Los

empaques fabricados son utilizados en mercados nacionales e internacionales. (Monzón 2012)

Litografía Byron Zadik fundada en 1926, forma parte del grupo SIGMA desde 1970, fabrican empaques varios, entre ellos productos alimenticios, transformando el papel, imprimiendo, troquelando y formando empaques. Sus productos cubren el mercado de Centroamérica y del Caribe. (Cho 2008).

2. MARCO TEÓRICO

El Marco Teórico contiene la exposición y análisis de las teorías y enfoques teóricos y conceptuales utilizados para fundamentar la investigación relacionada con la administración de inventarios de repuestos en la industria de manufactura de empaques y envases de papel o cartón para productos alimenticios en el municipio de Guatemala.

2.1 Empaques y envases

Los empaques y envases surgen de la necesidad de transportar y conservar por mayor tiempo las características originales de los alimentos. El aumento de las necesidades de los clientes y la apertura del mercado internacional han requerido de una creciente evolución de los empaques y envases para alimentos.

2.1.1 Clasificación de empaques y envases

Envase: se denomina envase al contenedor que está en contacto directo con el producto mismo. Su función es guardar, proteger, conservar e identificar el producto; también facilita su manejo y comercialización. (INTI 2012).

Packaging: muchas veces escuchamos la palabra packaging cuando se habla de envases. Se trata de un término anglosajón que engloba las funciones de contener, proteger, distribuir y comercializar los productos, que traducido al español es empaque. (INTI 2012).

Estas dos definiciones nos muestran que se trata de sinónimos, es decir, que parecería ser indistinto usar un término que otro. Sin embargo, el packaging suele estar más vinculado a la comercialización de los productos y no tanto a la función contenedora de los envases. (INTI 2012).

Embalaje: es la cobertura que da mayor protección y poder de manipulación a las mercancías envasadas. Su función es perfeccionar las condiciones para el

almacenamiento, transporte y llegada a destino de los productos en óptimo estado. Habitualmente se dice que el embalaje es “el envase del envase”. (INTI 2012).

Mientras el envase contiene al producto y promueve su identidad, el embalaje protege al envase. El envase es la protección individual de cada uno de los productos. El embalaje, es la protección colectiva (por eso se lo relaciona además con el almacenamiento). (INTI 2012).

2.1.2 Tipos de envases

Envase primario: Es el que está en contacto directo con el producto; casi siempre permanece dentro del empaque hasta su consumo. Por ejemplo, si nuestro emprendimiento es sobre elaboración de mermeladas, los frascos que las contienen son un envase primario. Las características del producto deben aparecer en el envase. (INTI 2012).

Envase secundario: es el que contiene el o los envases primarios, más todos los accesorios de embalaje (por ejemplo, separadores tales como cuadrículas de cartón, rejillas de plástico, entre otros). Muchas veces este segundo envase se utiliza para exhibir el producto y es el que juega también un papel en la protección y en la información de sus características. Normalmente, este tipo de envase se desecha después de adquirir el producto. En el ejemplo del emprendimiento de mermeladas, un envase secundario es la caja de cartulina que contiene varios frascos separados por una cuadrícula de cartón. (INTI 2012).

Envase terciario o de transporte: es el utilizado para agrupar, manipular, almacenar y trasladar los productos. Contiene tanto envases primarios como secundarios, es decir, y siguiendo con el mismo ejemplo, puede tratarse de una caja de cartón corrugado que contiene las cajas de cartulina (secundario) que tienen los frascos (primario) que contienen al producto (mermeladas). (INTI 2012).

2.1.3 Clasificación de los envases por su vida útil

Por su vida útil, los envases se clasifican en:

Envases retornables: Son creados para ser devueltos al envasador, para que sean reacondicionados, limpiados adecuadamente y vueltos a llenar con el mismo producto, como por ejemplo los envases de vidrio para cerveza (envase primario retornable). (INTI 2012).

Envases no retornables o descartables: Están pensados para un solo uso, y ser desechados luego de su utilización. Por ejemplo, si nuestro emprendimiento es sobre elaboración de detergente, el envase de plástico (primario), una vez consumido el producto, se lo descarta. (INTI 2012).

Envases reciclables: son diseñados para ser reprocesados luego de su uso, obteniendo un producto similar o diferente al original. Hay una reutilización de los materiales que componen al envase. Es importante señalar que prácticamente todos los envases cumplen con esta función, lo que es un aspecto importante en el cuidado del medio ambiente. (INTI 2012).

La lata, el papel, el plástico y el vidrio son algunos de los materiales utilizados para la elaboración de envases. En éstos, aparecen los símbolos que identifican internacionalmente su proceso de reciclaje. (INTI 2012).

2.1.4 Funciones del envase y embalaje

El Instituto Nacional de Tecnología Industrial (2012) expone: más allá de las definiciones que podamos encontrar sobre envases y embalajes, lo más importante es pensar en las funciones que queremos que tengan ya, que tanto los envases como los embalajes son una suma de funciones técnicas, sociales y económicas que se pueden enmarcar en dos grandes razones: Práctica y Comunicativa.

2.1.4.1 Razón Práctica

El Instituto Nacional de Tecnología Industrial (2012) expone: el producto debe protegerse en su recorrido desde el fabricante hasta el consumidor. El envasado asegura identificación, limpieza y además, si es adecuado al producto, evita pérdidas por evaporación, derramamiento o deterioro. El envase es el único que asegura que el producto llegue con la calidad de origen ya que tiene como fin:

Contener: reduce al producto a un espacio determinado y a un volumen específico. (INTI 2012).

Preservar / conservar: otorga una barrera entre el producto y los agentes externos, logrando su permanencia por largo tiempo sin sufrir alteraciones en su composición química o estructura física. (INTI 2012).

Proteger: cuida al consumidor y al medio ambiente del propio producto y, al mismo tiempo, aísla al producto de riesgos físicos y mecánicos durante el transporte. (INTI 2012).

Distribuir / transportar: permite que un producto sea trasladado fácilmente, impidiendo roturas y daños, y optimiza los volúmenes de carga y almacenamiento. (INTI 2012).

Dosificar: da cuenta de las distintas presentaciones de comercialización ya que implica colocar un mismo producto en diferentes cantidades. (INTI 2012).

2.1.4.2 Razón Comunicativa

El Instituto Nacional de Tecnología Industrial (2012) expone: el envase puede convertirse en el único elemento diferenciador dentro de un conjunto de productos similares, ya que entra en contacto con el consumidor (antes que el propio producto). Es decir, el envase debe ser la mejor carta de presentación porque es el encargado de hablar de las cualidades del producto, de su elaboración y su

fecha de vencimiento; se recomienda que tenga un logo que identifique el producto y al emprendedor. Esta razón se traduce en:

Brindar información sobre el contenido del envase antes de acceder al producto (tipo, cantidad, calidad, información nutricional, del establecimiento donde fue elaborado, entre otros).

Presentar los productos a su eventual consumidor bajo un aspecto lo más atractivo posible y en un volumen que sea conveniente para la unidad de consumo; se deben adecuar las dimensiones y formas para que el envase se adapte correctamente en los espacios de exposición.

Todas estas funciones son importantes y priorizar unas sobre otras depende de las necesidades de cada emprendedor. Incluso no siempre se debe cumplir con todas, sino que debe seleccionarse de acuerdo con el producto elaborado.

2.2 Repuestos basados en la confiabilidad

Las máquinas que fabrican envases y empaques han sido diseñadas específicamente para operar con materias primas específicas, dependiendo del tipo de material con el cual será fabricado, las máquinas diseñadas para procesar un tipo de material, utilizará repuestos únicos que no serán compatibles con otra máquina que procesa otro tipo de material, demandando un mayor inventario de repuestos.

2.2.1 Que es el RCS (Repuestos basado en la Confiabilidad)

Andía (sin fecha) expresa: Es claro que dentro de las responsabilidades de cualquier organización industrial está el garantizar que la producción puede llevarse a cabo dentro de las fechas que demanda el mercado, con productos que estén de acuerdo con los parámetros de calidad establecidos.

Para cumplir con este reto, las empresas tienen que anticiparse a los posibles problemas que pudieran ocurrir con los equipos industriales y programar un plan de mantenimiento adecuado a la fiabilidad con la que se comportan los distintos elementos del sistema productivo.

Sin embargo, ¿cómo puede ser fiable un plan de mantenimiento si no se tiene los repuestos necesarios para realizar una determinada tarea? ¿De qué nos sirve saber lo que tenemos que hacer, si en un momento determinado no podemos hacerlo?

En principio parecería simple la respuesta y de hecho existen muchas técnicas para determinar niveles adecuados de inventarios, pero el caso al que tratamos tiene una complejidad adicional que lo hace distinto y que complica seriamente la decisión: artículos de un alto valor unitario y una demanda muy baja, de menos de una unidad al año, pudiendo llegar incluso a no ser demandado en toda la vida útil del equipo. ¿Cómo saber si debemos invertir en ese artículo que cuesta más de, digamos 30,000€, y que puede que no se use nunca durante la vida útil de la instalación?

Para poder responder a la pregunta, debemos primero identificar cuáles son los factores que pueden afectar nuestra decisión, para luego ponerlos en la balanza y decidir. La lógica de nuestro cálculo pasa por encontrar dos grandes costos, por un lado los costos derivados de mantener una cantidad determinada del artículo en nuestro inventario (costo de compra, mantenimiento en inventario, tasa de descuento, etc.); y por otro el costo del lucro cesante, producido por no contar con el repuesto en cuestión en el caso en el que se hubiera producido un fallo que lo requiriese (evidentemente los costos deben ser calculados en horizonte de tiempo razonablemente largo como por ejemplo la vida útil del equipo). Las combinaciones que se produzcan de estos dos grandes costos para cada nivel de inventario, dibujarán una curva de costo total para cada escenario, permitiéndonos

elegir aquel costo total menor. Esto nos permitirá tomar una decisión que sea a la vez eficiente y que tenga el menor costo posible.

2.2.2 Cumplir con el programa de mantenimiento

Andía (sin fecha) expresa: Evidentemente contar con un programa de mantenimiento, como ejemplo uno basado en RCM2, nos proporciona actividades concretas a realizar como tareas de predictivo, preventivo o correctivo, así como también tareas de “búsqueda de fallos”. Para ejecutar estas tareas necesitaremos los repuestos asociados a los modos de fallo en cantidad suficiente para tener un resultado costo-eficiente.

Si por un momento pensamos en una tarea de mantenimiento predictivo en la cual se ha detectado el punto de fallo potencial. ¿Qué pasaría si no tenemos el repuesto necesario para reparar el equipo, y el tiempo de reposición es mayor que el tiempo restante hasta que se llega al fallo funcional? ¿De qué nos habría valido la realización de una tarea de predictivo?

Este trabajo puede incluir: mantener en inventario artículos que no existían en las listas y que sin embargo se muestran como necesarios; artículos que existían en una cantidad mayor a la necesaria (y aquí se presentan dos opciones: vender las unidades sobrantes o mantenerlas reduciendo los puntos de pedido.

2.2.3 Gestión del Riesgo

Andía (sin fecha) expresa: A veces se nos pueden presentar situaciones en las que tengamos que tomar una decisión que puede implicar operar en situaciones de riesgo incrementado. Por ejemplo, pensar en un dispositivo de protección que ha fallado y que no dispone de repuesto en el almacén. La empresa tendrá que tomar una decisión entre parar la instalación o plantearse alguna alternativa viable, normalmente sustituyendo el proceso de control automático por uno manual bajo condiciones seguras. ¿Cómo saber que estas tomando las precauciones

adecuadas? ¿Cuál debería ser el nivel de inventario para evitar la ocurrencia de estas situaciones?.

Otro ejemplo podría estar asociado a posibles grandes pérdidas generadas por la indisponibilidad de un repuesto, provocando serios daños a la sostenibilidad del negocio en cuestión. Este efecto se puede ver con claridad en el caso en el cual un determinado repuesto tiene un valor unitario no muy alto, digamos de 1.000€, con un plazo de reposición de más de un mes y que genera unas pérdidas de producción superiores a los 5.000€ a la hora. Si se produce el fallo y no se cuenta con este repuesto, la pérdida podría llegar hasta los 3.600.000€, para muchas compañías una cifra que es mayor a los beneficios de todo el año.

2.3 Los inventarios en las empresas manufactureras, su tratamiento y su valoración. Una mirada desde la contabilidad de costos

Los inventarios en forma general cuentan con tratamientos específicos dependiendo de sus características propias, estas características están en función de los requerimientos de los usuarios finales, del tiempo de despacho por parte del proveedor y de los costos que se incurren por cada factor que interviene en el manejo del inventario.

2.3.1 Introducción a la valoración del Inventario

Duque et al. (2010) expone: El inventario es uno de los activos más importantes que poseen muchas compañías porque es el mayor rubro del activo corriente que se convierte en la base de las empresas comerciales e industriales, y su costo se puede medir de diversas formas. Al evaluar el desempeño de una organización, una de las primeras preguntas debe ser: ¿cómo valoran ellos su inventario?

Un inadecuado manejo y valoración de los inventarios puede contribuir a la quiebra de los negocios y, por el contrario, una buena valoración, administración y control contribuye al éxito empresarial.

Los beneficios económicos que se pueden derivar de reducir los inventarios quedan claros con solo analizar las estadísticas siguientes: en Estados Unidos, el costo promedio de un inventario representa entre 30 y 35 por ciento de su valor. Estos costos se derivan de la obsolescencia, los seguros, los costos de oportunidad y demás. Las empresas perfectamente pueden tener ahorros en costos si pudiesen disminuir los inventarios (Chase, 2005, p. 606).

El estudio de los costos de los productos y por ende de los inventarios, requiere comprender y diferenciar cada uno de los conceptos de costos necesarios para una adecuada valoración de ellos. Es nuestra obligación aportar elementos de juicio que ayuden a los profesionales a aclarar los múltiples y diferentes conceptos de la teoría general de costos para la valoración de los productos.

Lo primero que habría que entender sobre este importante rubro es que su valoración y registro implica la construcción de una compleja red de registro de información a la cual comúnmente llamamos Contabilidad de Costos. Desconocer el manejo de dicha red de registro de información puede llevar a situaciones tan complejas para la empresa como:

- Sub o sobrevaloración de los costos de ventas
- Sub o sobrevaloración de las utilidades
- Sub o sobrevaloración de los inventarios
- Pérdida de negocios
- Capital de trabajo improductivo
- Altos costos de oportunidad
- Inadecuadas interpretaciones por parte de analistas financieros y otros usuarios de la información

- Quiebra de los negocios
- Costos muertos
- Incumplimiento de las normas contables y fiscales
- Sanciones ejemplarizantes de los organismos de regulación, control, inspección o vigilancia.

Preparación de información poco útil para la toma de decisiones relacionadas con fijación de precios, márgenes de utilidad, entre otros.

2.3.2 Costos de los inventarios

Paz (2007), expone: Al implantar un sistema de inventarios los gerentes deben considerar solo aquellos costos que varían directamente con la doctrina de operación al decidir cuándo y cuánto ordenar; los costos independientes a la doctrina de operación no son pertinentes.

2.3.2.1 Costo del producto

El costo o valor del producto es la suma que se paga al proveedor por el producto recibido, o los costos de manufactura si éste se produce. Normalmente, es igual al precio de adquisición. En algunos casos, sin embargo, se pueden incluir los costos de transporte, recepción o inspección como parte de los costos del producto. Si el costo unitario por unidad es constante para todas las cantidades ordenadas, el costo total de los bienes adquiridos que son necesarios para todo el horizonte de planeación es irrelevante para la doctrina de operación. Si el costo unitario varía cuando se modifica un pedido, se lleva a cabo una reducción en el precio llamada descuento por cantidad; este costo es pertinente. (Paz 2007)

2.3.2.2 Costos de adquisición

Son aquellos en los que se incurre al colocar la orden de compra o si se trata de manufactura se consideran como costos de preparación. Estos costos varían directamente con cada orden de compra colocada. Los costos de adquisición incluyen costos de servicios de correo, llamadas telefónicas a los proveedores, costos de mano de obra en las compras y contabilidad, costos de recepción, tiempo de cómputo para el mantenimiento de los registros y abastecimientos para la elaboración de las órdenes de compra. (Paz 2007)

2.3.2.3 Costos de manejo de inventarios

Los costos de manejo o de llevar los inventarios son los costos reales, los que salen del bolsillo y se relacionan con tener el inventario disponible. Estos costos incluyen los seguros, la renta de bodegas, calefacción, energía, impuestos, y las pérdidas por robos, descomposición de los productos o por rotura. Otros costos de oportunidad, aunque no directos, se deben considerar, o sea los costos en los que se incurre por tener el capital ocioso en los inventarios. (Paz 2007)

2.3.2.4 Costos por falta de existencias

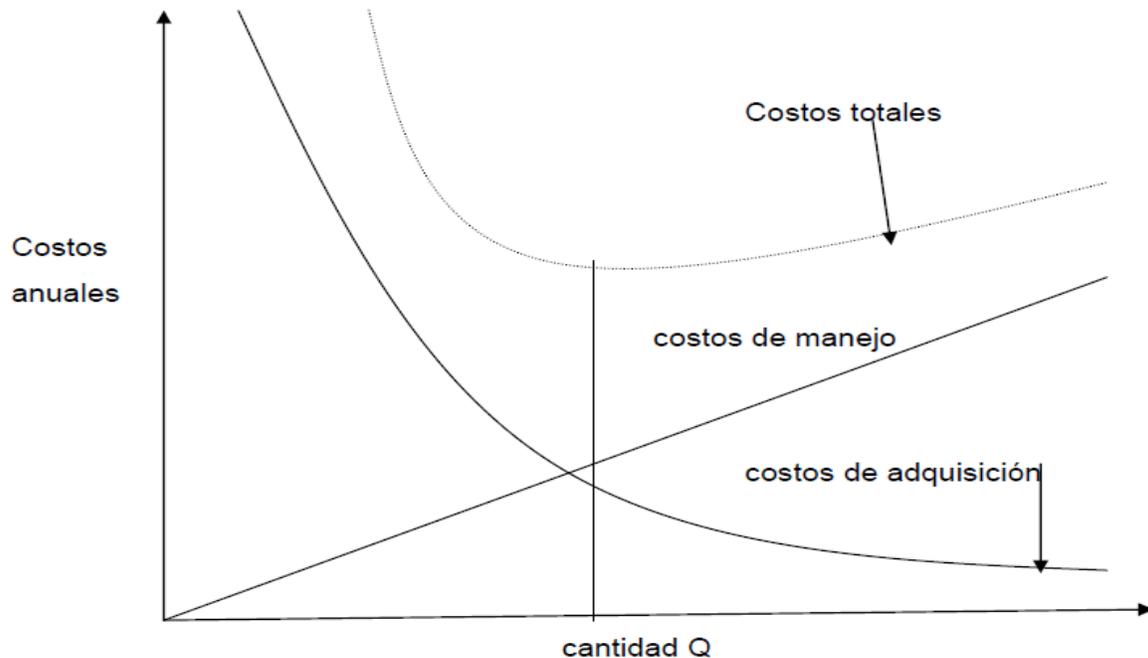
Los costos por falta de existencias son los que ocasiona la demanda, cuando las existencias se agotan, o sea son los costos de ventas, pérdidas, o de pedidos no surtidos. El objetivo del control de inventarios es encontrar la doctrina de operación de costo mínimo a lo largo de algún horizonte de planeación, esto se puede expresar en una ecuación general de costos:

Costos totales Anuales = costo del producto + costo orden de compra + costo de manejo de inventarios + costo por inexistencias

En la siguiente gráfica, la ecuación se reduce entre dos componentes para un modelo sencillo entre el costo de adquisición y el costo del manejo de los

inventarios, poniendo cantidades en función del costo anual de los artículos. (Paz 2007).

Gráfica 1: Costos del inventario



FUENTE: Paz (2007). Los inventarios en las empresas manufactureras.

Paz (2007). Expone: Los inventarios ABC es una técnica que proporciona ahorros considerables en los costos. Cuando el inventario de las empresas se clasifica por cantidades de dinero, en general un pequeño número de artículos representan un alto valor en dinero, y una gran cantidad de productos valen relativamente poco.

El concepto del inventario ABC divide a los inventarios en tres grupos:

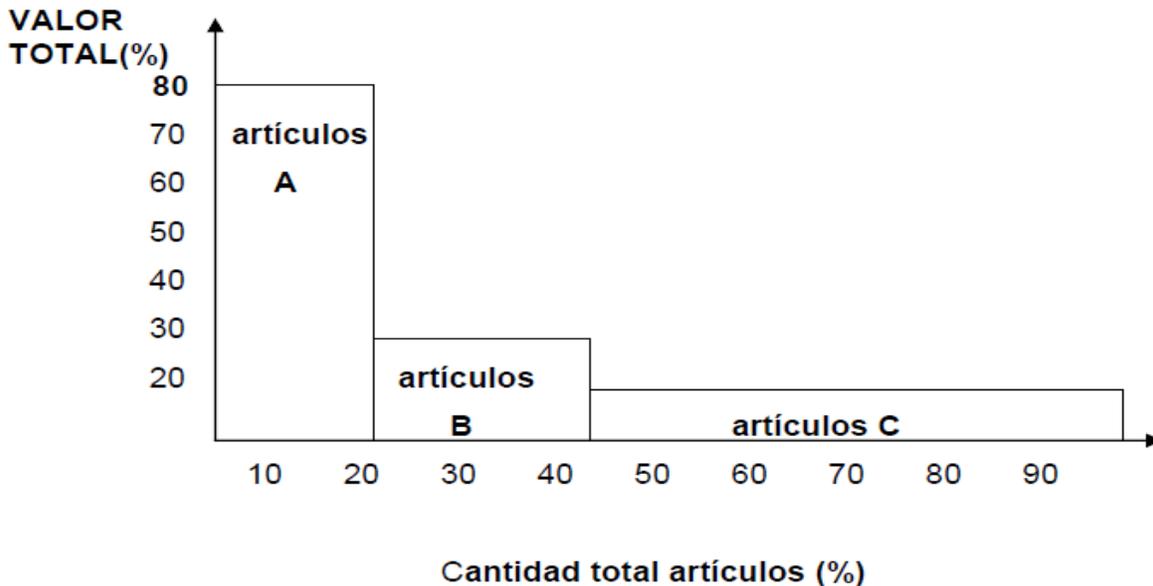
Grupo A, se concentran los pocos artículos que tienen un valor alto en dinero

Grupo B, artículos que representan un valor moderado en dinero

Grupo C, artículos que representan un valor reducido de dinero.

El grupo A, por ejemplo, puede agrupar el 20 por ciento de los artículos, el grupo B el 25 por ciento y el C el 55 por ciento.

Gráfica 2: Distribuciones del Inventario ABC.



FUENTE: Paz (2007). Los inventarios en las empresas manufactureras.

2.4 Propuesta de modelo matemático para la implementación de la metodología de confiabilidad optimización costo riesgo de inventarios

Medina (2013) expone: La dinámica de los negocios, exige cada vez más a las industrias producir al más bajo costo, con la más alta calidad y un mayor nivel de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de sus equipos para poder cumplir con los exigentes requerimientos de mercado. En el marco de este escenario tenemos el manejo de repuestos los cuales son de vital importancia en la continuidad operacional del proceso productivo. Sin embargo, una política errada en el manejo de riesgo puede convertir esta área en una generadora de alto niveles de costos en el proceso productivo e impactar negativamente en la eficiencia de la gestión financiera.

El manejo de inventarios representa una inversión considerable de dinero que no generará retorno de inversión es decir este dinero invertido por las empresas en

mantener un gran inventario de repuestos puede optimizarse y el excedente puede ser utilizados en nuevas inversiones que puedan generar beneficios a la empresa, así como disminuir el impacto en impuestos que se paga por mantener ese inventario, es por ello que se hace indispensable prestarle atención especial a este punto. (Medina 2013).

2.4.1 Definiciones

Activo: Es un elemento tangible o intangible, capitalizable en un ciclo de vida establecido, que cumple una función en un proceso productivo y está sujeto a acciones de mantenimiento. (Medina 2013).

Confiabilidad: Es la probabilidad de que un activo cumpla una función específica (no falle) bajo condiciones de operación determinadas en un período de tiempo específico. (Medina 2013).

Análisis Costo Riesgo Beneficio (ACRB): Es una metodología que permite establecer una combinación óptima entre los costos de hacer una actividad y los logros o beneficios que la actividad genera, considerando el riesgo que involucra la realización o no de tal acción. (Medina 2013).

Confiabilidad Operacional: Es una filosofía de trabajo orientada en una serie de procesos de mejora continua, que incorporan en forma sistemática, herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías, para optimizar la gestión, planeación, ejecución y control de la productividad; además lleva implícita la capacidad de una instalación (procesos, tecnología, gente), para cumplir su función o el propósito que se espera de ella, dentro de sus límites de diseño y bajo un específico contexto operacional. (Medina 2013).

Contexto Operacional: Es el conjunto de circunstancias que condicionan la operación de un equipo o sistema, están definidas como: localidad, ambiente, fluido de servicio, parámetros de operación, lineamientos ambientales, de

seguridad y producción, calidad y disponibilidad de los insumos requeridos, configuración de trabajo, flexibilidad operacional, redundancia, alarmas, monitoreo de primera línea y otros. (Medina 2013).

Costos De Mantenimiento: Es la sumatoria en términos monetarios, de todos los recursos asociados a la gestión del activo durante toda su vida útil. (Medina 2013).

Criticidad: Es una medida del riesgo asociado a la falla de un activo, el cual se expresa como el producto de la frecuencia de ocurrencia de la falla o índice de probabilidad de falla y su consecuencia. (Medina 2013).

Datos De Equipo: Son los parámetros técnicos, operativos y ambientales que caracterizan el diseño y la utilización de una unidad de equipo. (Medina 2013).

Equipo: Es un elemento de producción dentro de un arreglo lógico funcional. (Medina 2013).

Equipo Multidisciplinario de Trabajo (EMT): Es un equipo constituido por especialistas o actores de diferentes disciplinas que tienen como objetivo guiar la implementación de estrategias de mantenimiento y confiabilidad, la sincronización de actividades, el establecimiento de planes integrales de acción y la optimización de los costos de producción y mantenimiento en la organización. Entre los actores o especialistas que pueden conformar el EMT se encuentran: custodios de instalaciones, planificador, programador, ejecutor, ente técnico, entre otros. (Medina 2013).

Especialista: Es el experto en áreas de conocimiento específico tales como: equipos dinámicos, equipos estáticos, control de corrosión, instrumentación, control, electricidad, confiabilidad y otros que apliquen al estudio. (Medina 2013).

Técnico de Mantenimiento: Es el especialista en reparación y mantenimiento de sistemas y equipos. (Medina 2013).

Mantenimiento: Es una combinación de todas las acciones técnicas y administrativas, que pretenden retener o restaurar un activo en un estado en el que pueda ejecutar una(s) función(es) requerida(s). (Medina 2013).

Mejoramiento Continuo: Es un ciclo de retroalimentación constante basado en planificación, ejecución, medición y control de actividades que permiten tomar acciones para la mejora de un proceso, incrementando la satisfacción de los clientes y de otras partes interesadas. (Medina 2013).

Almacén: Lugar o espacio físico para el almacenaje de bienes dentro de la cadena de suministro. (Medina 2013).

Riesgo: Efecto de la incertidumbre sobre la consecución de los objetivos, matemáticamente es el producto de la probabilidad de falla por sus consecuencias. (Medina 2013).

$$R(t) = Pf(t) \times C$$

R(t): riesgo

Pf(t): probabilidad de ocurrencia de un evento no deseado

C: consecuencias de falla.

Impuestos: Clase de tributo (obligaciones generalmente pecuniarias en favor del acreedor tributario) regido por derecho público. Se caracteriza por no requerir una contraprestación directa o determinada por parte de la administración hacendaria (acreedor tributario). (Medina 2013).

Depreciación: El término depreciación se refiere, en el ámbito de la contabilidad y economía, a una reducción anual del valor de una propiedad, planta o repuesto. (Medina 2013).

Stock Mínimo: Es aquella cantidad de materias primas o materiales que necesita la línea de producción o la línea de servicio para satisfacer su demanda, mientras espera la llegada de los productos. (Medina 2013).

Stock de Seguridad: nivel de inventario establecido para evitar consecuencias a causa de la posible variación en la demanda que puedan superar el lote de repuestos disponibles. (Medina 2013).

Punto de Reorden: Puede definirse como el tiempo que transcurre entre la emisión de un pedido (orden de compra) por parte de un cliente y la recepción de las mercaderías solicitadas. (Medina 2013).

2.4.2 Bases teóricas estadísticas

Para comprender la metodología en la administración del inventario de repuestos, es indispensable contar con bases teóricas estadísticas que permitirán comprender los cálculos elaborados.

Lobo (2006) expone los siguientes conceptos estadísticos que serán utilizados en el presente trabajo:

2.4.2.1 Fuentes de información

Evidencia

Es toda información recolectada dentro de un sistema de estudio, registrando los eventos.

Opinión de expertos

Se considera la probabilidad de ocurrencia de un evento con base en la opinión y experiencia de personas que están directamente involucradas en la operación.

Teorema de Bayes

Es un modelo estadístico que permite combinar información de una base de datos con registros y la opinión de expertos, con el objetivo de obtener estimaciones más ajustados a la realidad.

2.4.2.2 Gerencia de la incertidumbre

Es el arte de tomar decisiones cuantificando aquello que no es observable a simple vista, evaluando el impacto económico en el modelo de decisión y mejorando el de conocimiento cuando es factible técnicamente y económicamente rentable.

2.4.2.3 Nivel de incertidumbre

Es una medida de inseguridad o grado de desconocimiento acerca del valor que puede tomar una variable, fenómeno o proceso bajo estudio.

2.4.2.4 Probabilidad

Medida de la posible ocurrencia de un evento en un espacio físico determinado.

2.4.2.5 Estadística descriptiva

Estudia las variaciones de la incertidumbre, con el apoyo de las distribuciones de probabilidades que representan matemáticamente y gráficamente las variables que afectan directamente un caso de estudio en particular.

2.4.2.6 Variables aleatorias discretas y continuas

Las variables aleatorias pueden adoptar un conjunto de valores, cada valor con una probabilidad de ocurrencia, sin poder confirmar el valor que puede tomar en una situación específica. Las variables aleatorias discretas pueden ser contadas y las variables aleatorias continuas pueden ser medidas.

2.4.2.7 Distribuciones de probabilidad

Son modelos que representan gráficamente los valores que pueden tomar las variables aleatorias. Permiten realizar inferencias y tomar decisiones bajo escenarios de incertidumbre. Sus principales características son: Valor central o medida de posición (la media, la mediana o la moda), una cantidad que representa la dispersión (la desviación estándar) y la forma de la curva.

2.4.2.8 Media, Esperanza Matemática o Valor Esperado

Expresa la posición central de la distribución, es considerado como el centro de gravedad de la distribución. Siendo el único valor que se estima para todas las formas de distribuciones, es un valor que puede ser trasladado de una distribución a otra.

2.4.2.9 Moda

Al analizar una muestra de datos, es el valor que más se repite. Puede ser la mediana de una distribución de probabilidades, se define formalmente como como el valor X_m de la variable aleatoria X la cual tiene mayor probabilidad de ocurrencia.

2.4.2.10 Mediana

Es definida como el valor $X_{50\%}$, tiene una probabilidad acumulada del 50%, en otras palabras, el 50% de los posibles valores adquiridos por una variable serán mayores o iguales a X y el otro 50% serán menores al valor X . En las distribuciones de probabilidades simétricas, el valor de la media, la mediana y la moda, es el mismo. En cambio, en las distribuciones asimétricas, el valor de la media, la moda y la mediana, es diferente.

2.4.2.11 Medidas de Dispersión

Son indicadores de la incertidumbre relacionada con la variable.

2.4.2.12 Varianza y Desviación Estándar

La desviación estándar es la medida de dispersión más utilizada en una distribución de probabilidades, mide la desviación de los datos con respecto de la media aritmética de la distribución, se define como la raíz cuadrada de la varianza de la variable.

$$\sigma = \sqrt{\text{Varianza}}$$

La varianza se define como la esperanza (valor esperado, media poblacional o media) del cuadrado de la desviación de la variable respecto a su media. La varianza establece la variabilidad de la variable.

$$\text{Varianza} = \sigma^2$$

2.4.2.13 Percentiles

Se llama percentil “ α ” de una distribución de probabilidades, al valor de la variable aleatoria nombrado como X_α , o P_α , el cual, la probabilidad acumulada es “ α ”, en otras palabras, existe $\alpha\%$ de probabilidades que los valores de la variable aleatoria “ X ” sean igual o menor a X_α . El percentil 50 (P_{50} o $x_{50\%}$), es la mediana de la distribución.

$$\int_{-\alpha}^{\alpha} f(x)dx = \alpha$$

2.4.2.14 Intervalo de confianza

Los pronósticos o estimaciones de las variables aleatorias no deben representarse por un solo valor estimado, debe incluirse la precisión de esa estimación. La estimación del valor que puede adquirir la variable puede contenerse entre unos

límites de confianza. Entre más distantes estén los límites, mayor será la probabilidad de que incluyan el valor verdadero.

2.4.2.15 Confiabilidad

Término que permite cuantificar la incertidumbre, dentro de la gestión de mantenimiento, término utilizado con fines para la predicción de fallas y en la planificación de actividades de mitigación del riesgo.

2.4.2.16 Distribuciones paramétricas

Definidos como modelos matemáticos que permiten representar las posibles variaciones de los valores adquiridos por la variable aleatoria y relacionarlos con la probabilidad de ocurrencia para cada uno de ellos. Son herramientas para tomar decisiones en ambientes de incertidumbre. Las distribuciones paramétricas para variables aleatorias continuas más conocidas son: La Normal, Lognormal, Exponencial, Weibull, Beta, Gamma, Triangular, Uniforme, Valor Extremo entre otras. Las distribuciones paramétricas para variables discretas más conocidas son: Binomial, Poisson, Hipergonométrica, Geométrica entre otras.

2.4.2.17 Distribuciones para Variables Aleatorias Continuas

Distribución Normal

Conocida como “Campana de Gauss”, sus parámetros son: media y desviación estándar. Las variables aleatorias asociadas a parámetros sociales, fenómenos naturales, errores de medición, porcentaje de defectos por unidad producida, siguen el comportamiento de la distribución normal. Deben existir tres condiciones en las variables que se ajustan a esta distribución.

1. El valor más probable de la variable es el valor central o media de la distribución
2. La variable puede tomar valores por debajo o por encima de la media.

3. La probabilidad que un valor de la variable esté cerca del valor central es del 68% de la desviación estándar.

Distribución Lognormal

Cuando existen valores con elevados niveles de dispersión, o su ocurrencia está cercano al valor mínimo. Los parámetros de la Distribución Lognormal son: media logarítmica " μ_t " y la desviación estándar logarítmica " σ_t ". Muchas variables físicas y procesos de deterioro pueden ser representados por este tipo de distribución. Hay cuatro características que siguen esta distribución:

1. La variable puede crecer sin límite, pero no puede tomar valores negativos.
2. La variable tiene a tomar valores hacia los mínimos
3. La variable puede ser muy dispersa
4. El logaritmo natural de los valores dará como representación gráfica una curva normal.

Distribución Beta

Es utilizada para describir datos empíricos y predicciones de comportamientos aleatorios de porcentajes y/o fracciones. Posee un rango de variación de 0 a 1, se utiliza para modelar la incertidumbre asociada a la probabilidad de ocurrencia de un evento en particular. Los parámetros que caracterizan esta distribución son: Alpha (α) y Beta (β). Se caracteriza por lo siguiente:

1. La variable desconocida toma un valor aleatorio entre 0 y 1.
2. La forma de la distribución puede ser especificada mediante dos valores positivos.

Distribución Gamma

Es muy útil para modelar estadísticas Bayesianas, se considera como la distribución del tiempo hasta que transcurre un número determinado de eventos. Aplica para investigaciones basadas en confiabilidad. Los parámetros de esta distribución son Alpha (α) y Beta (β). Las características de la distribución son:

1. Cuando la forma = 1, Gamma puede ser escalable a la distribución exponencial.
2. La suma de cualesquiera de dos variables diferentes (con distribuciones Gamma) es otra variable con distribución Gamma.
3. El producto de cualesquiera dos variables con distribución normal es una variable Gamma.

Distribución Triangular

Utilizada en el modelado de variables que tienen como origen la opinión de expertos. Las variables caracterizadas por este tipo de distribución tienen más probabilidad de reflejar valores cercanos a su moda que cercano a los extremos. Los parámetros de esta distribución son: valor mínimo, valor más probable y valor máximo.

Distribución uniforme

En este tipo de distribución, todos los valores dados en un rango mínimo y un máximo, tienen la misma probabilidad de ocurrir. Los parámetros de esta distribución son: $X_{\text{mínimo}}$ y $X_{\text{máximo}}$, las características son:

1. El valor mínimo es fijo
2. El valor máximo es fijo

3. Todos los valores entre el valor mínimo y máximo poseen la misma probabilidad de ocurrencia.

2.4.2.18 Distribuciones para Variables Aleatorias Discretas

Distribución Binomial

Distribución de probabilidad discreta que contabiliza el número de éxitos en " n " ensayos independientes entre sí. Cada ensayo posee una probabilidad de ocurrencia de éxito fija " p ". Teniendo solo dos resultados posibles "éxito o fracaso". Los parámetros de esta distribución son " n " y " p ". El lanzamiento de dados o de monedas para obtener un resultado, se ajusta a este tipo de distribución. Las características son:

1. El experimento consiste en una sucesión de n ensayos idénticos.
2. Cada intento posee dos resultados, éxito o fracaso.
3. La probabilidad del éxito no cambia entre un intento y otro, por consiguiente, la probabilidad que puede expresarse como $1-p$, no cambia entre intentos.
4. Los ensayos son independientes.

Distribución Poisson

Distribución de probabilidad discreta, utilizada para casos en las que el número de pruebas es grande y el número de éxitos es pequeño. Cuando existen eventos discretos, pero en intervalos continuos (tiempo, longitud, área, entre otros). Las características son:

1. La probabilidad de observar el mismo éxito en un intervalo es estable.
2. La probabilidad de que ocurra un éxito es proporcional al intervalo.

3. La ocurrencia de un éxito en cualquier intervalo es estadísticamente independiente de aquella en cualquier otro intervalo.

2.4.2.19 Método de Montecarlo

Se considera un método numérico, que muestra diferentes resultados simulando valores aleatorios en variables que influyen directamente en el resultado de un modelo, el objetivo es generar varios escenarios a partir de los valores que el usuario considera que una variable puede tomar, esto dependerá de la caracterización probabilística de cada variable, si un usuario conoce el valor mínimo, máximo, medio o bien, conoce su comportamiento que se ajuste a un modelo estadístico, el Método de Montecarlo, colocará valores aleatorios en cada iteración, colocando el resultado en una gráfica, en la cual, el usuario podrá conocer la probabilidad de obtener un resultado dentro de un rango de valores, dando una confiabilidad en el resultado con base a la probabilidad de ocurrencia dentro de los posibles escenarios.

2.4.3 Modelo Optimización Costo Riesgo Inventario (OCRI)

Medina (2013) expone: La metodología de Optimización Costo-Riesgo Inventario (OCRI) representa una vía altamente efectiva y eficiente para ejecutar estudios en un tiempo relativamente rápido con resultados de gran impacto en la confiabilidad operacional del proceso. Las técnicas de OCRI nos ayudan a modelar y analizar distintos escenarios, con el fin de poder determinar el momento oportuno de realizar una actividad de mantenimiento, inspección, conocer la viabilidad económica de algún proyecto, determinar el número óptimo de repuestos o identificación del ciclo óptimo de vida útil. Estos resultados permitirán optimizar el proceso de toma de decisiones de los diferentes procesos de gestión de la Confiabilidad Operacional.

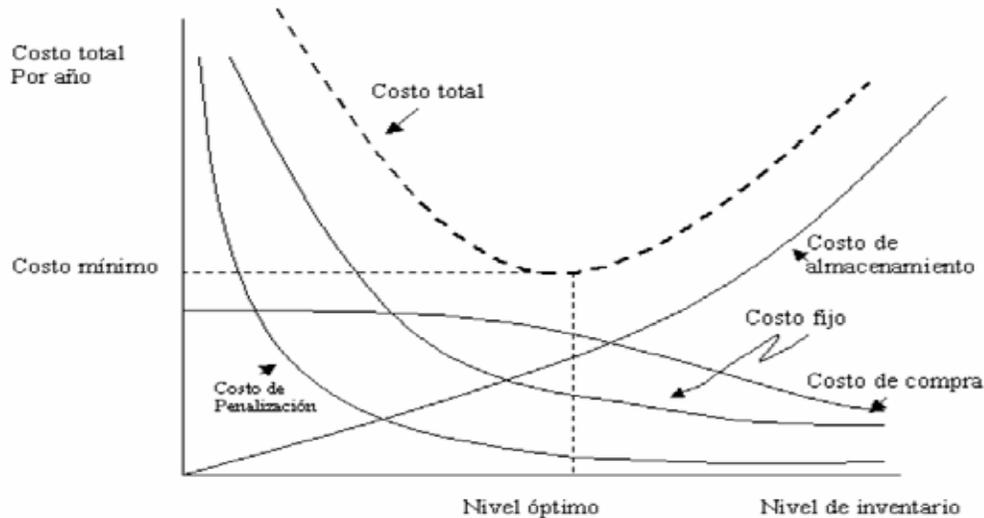
El objetivo final de cualquier modelo de inventarios es el de dar respuesta a preguntas como: ¿Qué cantidad de repuestos deben pedirse?, ¿Cuándo deben

pedirse? Y ¿Cuál es el nivel de inventario de seguridad? La respuesta siempre la expresamos en términos de lo que llamamos cantidad de pedido. Esta representa la cantidad óptima que debe ordenarse cada vez que se haga un pedido y puede modificarse con el tiempo, dependiendo de la variación de las consecuencias o impactos asociados a la ausencia del repuesto analizado.

La respuesta a la segunda interrogante depende del tipo de sistema de inventarios. Si el sistema requiere revisión periódica en intervalos de tiempo iguales (por ejemplo, cada semana o cada mes), el tiempo para adquirir un nuevo pedido suele coincidir con el inicio de cada intervalo de tiempo. Por otra parte, si el sistema es del tipo de revisión continua, el nivel de inventario en el cual debe colocarse un nuevo pedido suele especificar un punto para un nuevo pedido.

En la gráfica 3 se ilustra la variación de las cuatro componentes de costo del modelo de inventario general como función del lote de repuestos o nivel del stock de inventario. Para este modelo el nivel de stock de inventario óptimo corresponde aquel que asegura un costo total mínimo al sumar las cuatro componentes analizadas.

Gráfica 3: Modelo conceptual de la aplicación metodológica del OCRI



Fuente: Medina, R. Propuesta de modelo matemático para la implementación de la metodología de confiabilidad optimización de costos de riesgo de inventarios.

El costo de compra se vuelve un factor importante cuando el precio de la unidad de mercancía depende del tamaño del pedido. Esta situación se expresa normalmente en términos de un descuento por cantidad o una reducción de precio, donde el precio unitario del artículo disminuye con el incremento de la cantidad ordenada.

El costo fijo representa el gasto fijo (o no variable) en que se incurre cuando se hace un pedido. Por lo tanto, para satisfacer la demanda en un periodo, el pedido (más frecuente) de cantidades menores dará origen a un costo fijo mayor durante el período, que, si se satisface la demanda haciendo pedidos mayores y, por lo tanto, menos frecuentes.

El costo de mantenimiento, que representa los costos de almacenamiento de repuestos en almacén (por ejemplo, interés sobre capital invertido, almacenamiento, manejo, depreciación y mantenimiento del repuesto en almacén), normalmente aumenta con el nivel de inventario.

Costo de penalización o Riesgo, está definido en esta aplicación como las consecuencias asociadas por la indisponibilidad de repuestos para cubrir la demanda, es decir la penalización por no tener el repuesto y será analizado como un egreso.

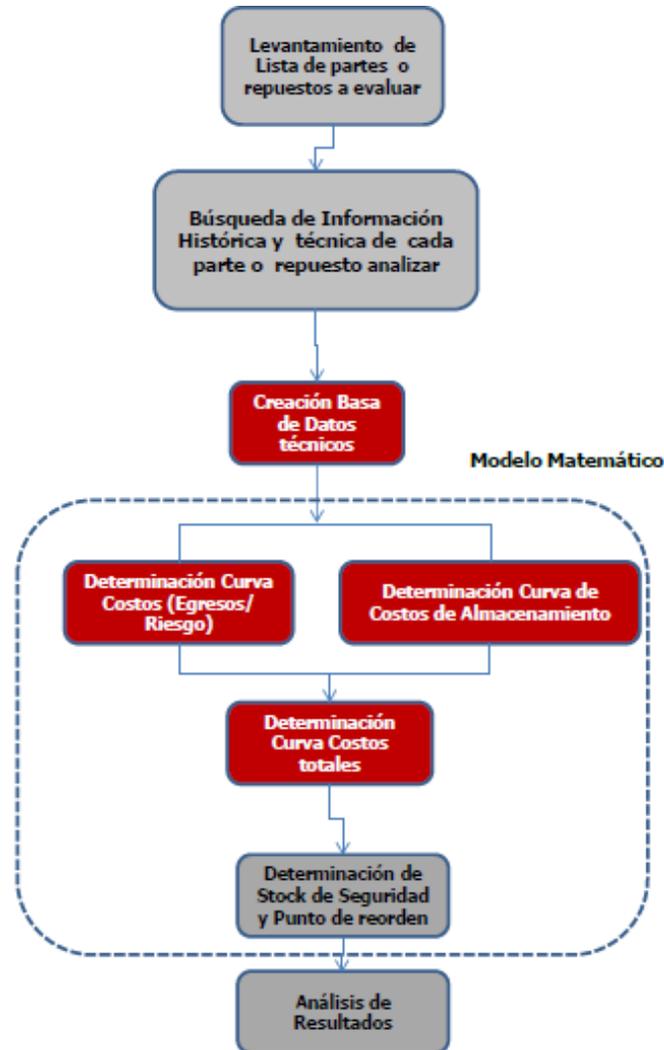
2.4.4 Procedimiento metodológico para la implementación de la metodología del modelo Optimización Costo Riesgo Inventario (OCRI)

Medina (2013) expone: La metodología de estimación de niveles óptimos para inventarios de partes y repuestos tiene como objetivo principal estimar la demanda de repuestos con base a la frecuencia de falla de los equipos, los planes de mantenimiento, y el número de equipos que utilizan esta parte o repuesto. Adicionalmente considera las consecuencias de no tener el repuesto según los conocimientos de las logísticas con el proveedor y las probabilidades de reparación

de repuesto, así como la consideración necesaria de los costos de compra y almacenamiento.

En la gráfica 4 se muestra el diagrama metodológico propuesto para la ejecución y aplicación de este tipo de estudios.

Gráfica 4: Diagrama metodológico para la ejecución de un OCRI



Fuente: Medina, R. Propuesta de modelo matemático para la implementación de la metodología de confiabilidad optimización de costos de riesgo de inventarios.

Según lo establecido en la gráfica anterior, se requiere el desarrollo de cinco etapas básicas para la aplicación metodológica del OCRI, las cuales se describen a continuación:

Etapa 1: Levantamiento de lista repuestos a analizar.

Etapa 2: Búsqueda de información histórica y técnica de cada repuesto a analizar

Etapa 3: Creación base de datos técnicos.

Etapa 4: Aplicación modelo matemático.

Etapa 5: Análisis de resultados

2.4.4.1 Etapa 1, levantamiento de la lista de repuestos a analizar

Medina (2013) expone: La identificación de los equipos medulares para el proceso de producción es fundamental para tener éxito en una gestión de repuestos basada en riesgo, de tal manera que este primer paso consiste en identificar ese universo de equipos cuya disponibilidad operativa compromete la disponibilidad de la instalación para cumplir con los compromisos de producción. Existen dos metodologías de confiabilidad que pueden ser utilizadas como primer filtro y son los Análisis de Criticidad y Análisis de Confiabilidad Disponibilidad/Mantenibilidad conocido también en inglés como Reliability, Availability and Maintainability (RAM).

En esta primera fase del estudio, debe generarse un listado preliminar de partes y repuestos que potencialmente serán los analizados. Los repuestos que aparecerán en esta lista obedecerán a los siguientes criterios técnicos:

- Partes y repuestos asociados a equipos críticos.
- Partes y repuestos de largos tiempo de entrega.
- Partes y repuestos con altos costos de compra y almacenamiento.
- Partes y repuestos de baja rotación, pero con altos costos de almacenamientos y pago de impuestos asociados.

Como segundo filtro se debe definir el nivel de importancia de cada repuesto, este segundo nivel de filtrado generará la lista definitiva de los repuestos que serán analizados, para esta jerarquización se plantea el uso del criterio de clasificación de importancia de cada repuesto conocido como criterio ABC.

El criterio ABC clasifica los productos según el porcentaje de inversión requerida por cada uno de los repuestos analizados, por lo que esta clasificación dividirá el stock de repuestos en tres grupos:

Grupo A: Porcentaje reducido de la cantidad de repuestos físicamente presentes en el total del stock de repuestos (10 al 20% aproximadamente) pero representan (80-90% aproximadamente) del costo total del dinero invertido en todo el inventario de repuestos.

Grupo B: Porcentaje medio en cuanto a unidades físicamente presentes en el universo de repuestos (alrededor del 30%) su valor respecto del costo total del inventario representa de 10 al 15%.

Grupo C: Este grupo de repuestos representa el más numeroso en cuanto a presencia en el almacén, son aproximadamente el 50 al 60% de los repuestos presentes físicamente, sin embargo, representan entre un 10 a 15% del costo total del inventario.

En este momento se cuenta con el nivel de criticidad y el correspondiente porcentaje de inversión requerida para la adquisición de cada repuesto, ambos criterios deberán ser incorporados en la matriz de clasificación propuesta en la gráfica siguiente, para la cual se establecen los siguientes criterios que definirán el listado de repuestos finales que deberán ser analizados en el estudio de OCRI.

Gráfica 5: Matriz de filtrado de equipos para el análisis de OCRI

Criterio ABC / Criticidad	Baja	Media	Alta
Repuesto Tipo A	AB	AM	AA
Repuesto Tipo B	BB	BM	BA
Repuesto Tipo C	CB	CM	CA

Fuente: Medina, R. Propuesta de modelo matemático para la implementación de la metodología de confiabilidad optimización de costos de riesgo de inventarios.

Criterios:

- Repuestos pertenecientes a equipos de media y alta criticidad cuya clasificación ABC sea Tipo A
- Repuestos pertenecientes a equipos de media y alta criticidad cuya clasificación ABC sea Tipo B y cuyo valor de mercado sea mayor a: XXX USD (Este valor será establecido por el equipo natural de trabajo)
- El criterio de incorporar los repuestos pertenecientes a equipos de Media y Alta Criticidad cuya clasificación ABC sea Tipo C, quedara a potestad del equipo natural de trabajo.
- Repuesto de baja criticidad no serán tomados en cuenta para el estudio de OCRI a menos que el equipo natural de trabajo decida hacerlo.

Como conclusión de esta etapa todos aquellos equipos que coincidan con la zona formada por las letras “AM, AA, BM y BA” establecida en la matriz de la gráfica 5, deberán ser analizados, mientras que la zona, formada por las letras “AB, BB, CB, CM y CA”, significa que no cumplen con el criterio para ser incorporados al estudio.

2.4.4.2 Etapa 2, búsqueda de información histórica y técnica de cada repuesto a analizar

Medina (2013) expone: El levantamiento de la información se debe efectuar mediante la revisión de las siguientes fuentes:

- Manuales Técnicos de Equipos.
- Despieces de equipos.
- SPIRS (repuestos y registros de intercambiabilidad)
- Catálogo de repuestos.
- Materiales
- Consulta con fabricantes y proveedores de repuestos.
- Registros/Reportes de evidencia de movimientos, existencias y costos de materiales.
- Opinión de expertos.
- Estudios de jerarquización de activos.
- Tiempos de entrega.
- Tiempos de reparación de los equipos.
- Frecuencias de falla y de mantenimiento (demanda del repuesto).
- Intercambiabilidad de partes y repuestos.
- Costos de repuestos, mantenimiento, impacto económico por falla o indisponibilidad de los repuestos, costos de almacenamiento y preservación.
- Niveles de inventarios actuales.

➤ Diagramas de tuberías e instrumentación.

Una vez obtenida toda la información técnica requerida se debe realizar un proceso de verificación y validación con los especialistas de la planta con la finalidad de depurar el listado de partes y repuestos planteado en la Etapa 1.

En esta etapa se contempla la revisión histórica del movimiento de repuestos por medio reuniones con los especialistas de cada disciplina (mecánica, electricidad, instrumentación), esto permitirá determinar los repuestos y/o partes asociadas a los equipos críticos, considerando como primer criterio de selección la experiencia que se tienen sobre cada uno de estos equipos. Así mismo en este proceso debe ser consultada la organización responsable de la compra de materiales, quienes poseen información clave en todo lo referente al proceso de compra.

2.4.4.3 Etapa 3, creación de base de datos técnicos

Medina (2013) expone: Esta base de datos de partes y repuestos, será la base de almacenamiento y deposición de toda la información técnica e histórica de uso relacionada con cada uno de los repuestos a analizar y constituye el corazón de esta metodología. La información almacenada en esta base de datos será el insumo para alimentar el software y de donde el modelo matemático tomará las variables requeridas para poder efectuar los cálculos necesarios que la metodología exige, en este sentido se debe desarrollar una base de datos bien estructurada, con información confiable y estandarizada.

Durante la etapa de búsqueda de información histórica y técnica debemos direccionar los esfuerzos a recolectar la información asociada a los campos establecidos en esta base de datos técnica, la cual está dividida en siete grandes áreas:

Área 1: Información general del repuesto

Esta área corresponde a la descripción del repuesto la cual a su vez estará conformada por los siguientes campos:

Descripción del repuesto: es la identificación escrita de la parte o repuesto, de acuerdo con el criterio del fabricante o del usuario.

Código de almacén: código o referencia que permite identificar el repuesto dentro de los almacenes, este código es único para cada parte o repuesto.

Fabricante del repuesto: la empresa comercial que elabora la parte o repuesto.

Número de parte: es el número de identificación que establece el fabricante de la parte o repuesto.

Intercambiabilidad: en que otro equipo o equipos es usado el repuesto en evaluación, para así determinar el universo completo correspondiente al uso de cada ítem.

Área 2: Equipo principal

Esta área corresponde a la segunda área general de la base de datos, en ella se obtendrá la descripción general del equipo principal al cual pertenece el repuesto, esta área está conformada por los siguientes campos:

TAG del equipo: es un código de identificación del equipo en el cual se encuentra instalado el repuesto, es decir, todos los equipos donde se puede usar el repuesto.

Descripción equipo: descripción o nombre del equipo en el cual se encuentra instalado el repuesto.

Área 3: Información de Repuestos Instalados

Esta área corresponde a la tercera área general de la base de datos, en ella se obtendrá información importante en cuanto al histórico de consumo o demanda, así como características operacionales y de diseño del proceso donde el repuesto opera. Esta área está conformada por los siguientes campos:

Número de equipos instalados: es la cantidad de equipos que usan el repuesto en total, considerando también aquellos equipos de respaldo.

Número de repuestos por equipo: cantidad de repuestos por equipo.

Cantidad de repuestos disponibles en almacén: es la cantidad de repuestos correspondientes al ítem analizado disponibles en el almacén durante el análisis.

Horas anuales de operación del equipo: corresponde al espacio de tiempo que el equipo opera en un año calendario.

Demanda anual del repuesto: se estima como la tasa de falla anualizada del equipo donde se encuentre instalado el repuesto, considerando solo las fallas relacionadas con la pérdida de función del repuesto en estudio, adicionalmente se debe incluir la demanda del repuesto por mantenimiento planificado. Otro aspecto importante en cuanto a la demanda es que la misma se requerirá sea distribuida bien sea definida por su comportamiento histórico o por opinión de expertos.

Desviación estándar demanda anual del repuesto: corresponde a la desviación estándar de la distribución seleccionada para modelar la demanda probabilísticamente, (este campo se calculará en función del tipo de distribución seleccionada).

Promedio anual de utilización del repuesto: corresponde al promedio anual de partes o repuestos consumidos del ítem analizado.

Área 4: Información Costos del Repuesto.

Esta área corresponde a la cuarta área general de la base de datos, en ella se obtendrá información importante en cuanto al histórico de costos asociados al almacenamiento del repuesto, los campos que se contemplan son:

Costo del repuesto: es el valor monetario del repuesto, de acuerdo con el tabulador del fabricante o proveedor, expresado en unidades monetarias. Esta variable debe ser considerada como una variable distribuida en el modelo matemático.

Costos de almacenamiento: todo material almacenado generará costos, a los cuales se denomina costos de existencias; los costos de existencias dependen de dos variables; la cantidad en existencias y tiempo de permanencia en almacén. Cuanto mayor es la cantidad y el tiempo de permanencia, mayores serán los costos de existencias. Este costo se asumirá como una variable distribuida que puede oscilar entre 6 y 10% del valor del repuesto.

Costos de impuestos: representa los costos asociados a impuestos que la empresa debe pagar por el capital invertido en comprar y tener disponible el repuesto en almacén, este costo se asumirá como una variable distribuida que puede oscilar entre 3 y 10% del valor del repuesto.

Costos de depreciación del repuesto: el término depreciación se refiere, en el ámbito de la contabilidad y economía, a una reducción anual del valor del repuesto. Este costo se asumirá como una variable distribuida que puede oscilar entre 3 y 10% del valor del repuesto.

Costos de obsolescencia del repuesto: este costo reviste gran importancia cuando se trata de artículos que pasan de moda con mucha facilidad. La competencia y el desarrollo tecnológico hacen que frecuentemente aparezcan en el mercado productos nuevos con ventajas adicionales en relación con los existentes en el

mercado. Esto origina una devaluación por obsolescencia en cierto tipo de inventario. Este costo se asumirá como una variable distribuida que puede oscilar entre 3 y 10% del valor del repuesto.

Costos de Mantenimiento del repuesto: los costos de mantenimiento son los gastos en que se incurre al mantener inventarios, por ejemplo: alquiler, electricidad. Este costo se asumirá como una variable distribuida que puede oscilar entre 2 y 5% del valor del repuesto.

Área 5: Análisis de tiempos

Esta área corresponde a la quinta área general de la base de datos, en ella se obtendrá información importante en cuanto a los tiempos característicos de vida útil del repuesto, tiempos asociados al proceso de compra y entrega, así como los tiempos de reparación del equipo por intercambio del repuesto afectado. Los campos que se contemplan son:

Vida útil del repuesto: indica el tiempo de vida útil del repuesto en almacenamiento (años).

Tiempos de entrega: es el tiempo medido desde la puesta de la orden de requerimiento por parte del usuario del repuesto, más el tiempo de procura, tiempo de procesamiento del proveedor, tiempo de importación (nacionalización) y tiempo de entrega. Existen dos tiempos de entrega, tales como:

- Tiempo normal de entrega: representa el tiempo de entrega del repuesto en condiciones normales por parte del fabricante o proveedor.
- Tiempo de entrega bajo emergencia: Representa el tiempo mínimo de entrega del repuesto en condiciones de urgencia o emergencia debido a la falla del repuesta de manera imprevista y no se cuenta con su disponibilidad en el almacén del usuario.

- Tiempo de reparación del equipo: tiempo efectivo para la reparación del equipo en donde se encuentra instalado la parte o repuesto; este tiempo se contabiliza desde que el equipo ha fallado hasta que el mismo entra en operación en condiciones normales después de reemplazar el repuesto fallado, se debe incluir el tiempo de toda la logística y el efectivo de reparación.

Área 6: Análisis de impactos y consecuencias de no tener el repuesto

Esta área corresponde a la sexta área general de la base de datos, en ella se obtendrá información importante en cuanto a impactos económicos que tiene la ausencia del repuesto sobre los procesos medulares de la empresa y su entorno. Los campos que se contemplan son:

Impacto en producción: pérdida económica en el proceso de producción debido a la indisponibilidad del repuesto, esta variable debe ser considerada como una variable distribuida en el modelo matemático. Otro aspecto importante por considerar es el impacto económico real por falla debido a la inexistencia de equipos de respaldo, en este sentido se deben representar todos los impactos económicos que puedan existir desde cero por la existencia de respaldo hasta el valor máximo que sería la no existencia de respaldo.

Impacto en seguridad: pérdida económica que representa la indisponibilidad del repuesto por su impacto en la seguridad de las personas. Esta variable debe ser considerada como una variable distribuida en el modelo matemático.

Impacto ambiental: pérdida económica que representa la indisponibilidad del repuesto por su impacto en el medio ambiente. Esta variable debe ser considerada como una variable distribuida en el modelo matemático.

Impacto en mantenimiento correctivo: costo económico que representa la reparación de emergencia del equipo. Esta variable debe ser considerada como una variable distribuida en el modelo matemático.

Área 7: Salidas del Modelo

El desarrollo del modelo matemático contempla la definición de ecuaciones que modelen las tres variables o salidas que el software tiene contemplado entregar, las cuales son: el número óptimo de repuestos, el stock de seguridad y tiempo entre pedidos.

2.4.4.4 Etapa 4, aplicación del modelo matemático

Medina (2013) expone: la información proveniente de las fases anteriores se utilizará para construir la curva costo-riesgo de cada uno de los elementos analizados y obtener una estimación representativa del número óptimo de repuestos de baja rotación y los máximos y mínimos para los repuestos de alta rotación, considerando el riesgo asociado de la realización o no de una actividad de compra de una parte.

Esta etapa contempla la simulación de las variables recolectadas en la información de las fases anteriores en la herramienta computacional el cual además de representar los resultados por ítem a través del gráfico Costo – Riesgo, también calculará como resultado el número óptimo de partes idénticas que se deben tener en almacén para minimizar riesgos y optimizar los costos. Una vez obtenido los resultados, éstos deben ser comparados con la política de inventario establecida por la empresa que implante la aplicación y con ello la implementación de los resultados obtenidos.

El modelo matemático contempla la definición de ecuaciones que modelen las tres variables o salidas que el software debe entregar, las cuales son:

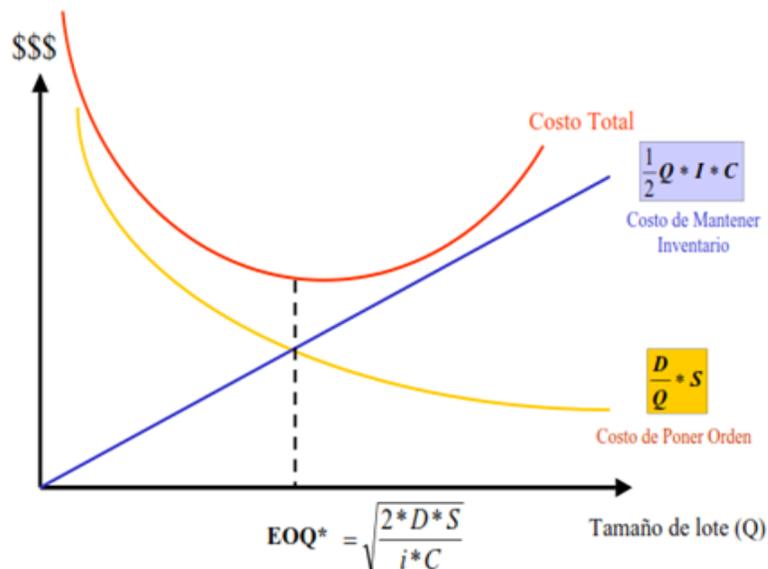
- Número óptimo de repuestos

- Stock de seguridad
- Tiempo entre pedidos

Modelo Matemático para el cálculo del número óptimo de repuestos:

La Cantidad Económica de Pedido (conocida en inglés como Economic Order Quantity o por las siglas EOQ), es el modelo fundamental seleccionado para el control de inventarios el cual puede apreciarse en detalle en la figura siguiente. Es un método que, tomando en cuenta la demanda de un producto (es decir, una demanda conocida y constante), el costo de mantener el inventario, y el costo de ordenar un pedido, produce como salida la cantidad óptima de unidades a pedir para minimizar costos por mantenimiento del producto, como complemento a este modelo se le añadirá el riesgo impacto económico (Riesgo) asociado a no contar con el repuesto una vez sea requerido.

Gráfica 6: Modelo matemático del lote económico



Fuente: Medina, R. Propuesta de modelo matemático para la implementación de la metodología de confiabilidad optimización de costos de riesgo de inventarios.

Este modelo matemático contiene el desarrollo de las curvas que deben modelar el comportamiento de tres variables claves en este proceso en función de la

variable lote económico de compra (Q), a continuación, veamos en detalle el modelo matemático para cada una:

➤ **Curva del costo de mantener el Inventario:**

Representa la curva asociada a la suma de todos aquellos costos involucrados en el proceso de almacenamiento de repuestos. La representación matemática para definir esta curva será establecida por la ecuación 1.

$$CMI = 0.5XQX(CR+CA+CI+CD+CO+CM)$$

Dónde:

CMI: Costo de mantener el Inventario

Q: Lote de repuesto

CR: Costo del repuesto

CA: Costo de almacenamiento

CI: Costos de impuestos por capital

CD: Costos por depreciación

CO: Costos de obsolescencia

CM: Costos mantenimiento correctivo (reparación del equipo).

➤ **Curva de impacto económico o riesgo:**

Representa la curva asociada a los egresos económicos de no contar con el repuesto una vez sea requerido por el sistema. Esta curva está conformada por dos grandes elementos o impactos económicos, el impacto administrativo de colocar la orden y el costo económico (riesgo) que representa no cubrir la

demanda con el lote de repuesto almacenado (Q). La representación matemática para definir esta curva será establecida por la ecuación 2.

$$R = (D/Q) \times CEO + (P_{\text{demanda} > Q}) \times (IEP + IES + IEA + IERE)$$

Dónde:

R: Riesgo o egreso económico

D: Demanda del repuesto

Q: Lote de repuesto

CEO: Costos de emitir la orden

$P_{\text{demanda} > Q}$: Probabilidad de que la demanda sea mayor que lote de repuesto (Q)

IEP: Impacto económico en producción

IES: Impacto económico en seguridad

IEA: Impacto económico ambiental

IERE: Impacto económico en reparación del equipo.

Es importante resaltar que para el cálculo de la probabilidad se requiere un proceso de caracterización de la variable “demanda del repuesto”, que permita obtener de manera exacta su comportamiento distribuido; este procedimiento puede ser uno de los dos que se detallan a continuación:

El primer procedimiento consiste en construir la distribución de la demanda del repuesto, con la data histórica (en caso de estar disponible) del comportamiento de ésta, por medio de alguna herramienta de caracterización

probabilística, la cual permitirá obtener la distribución que mejor se ajuste al comportamiento de esta variable.

El segundo procedimiento consiste en construir o caracterizar la distribución de la “demanda del repuesto”, a través de la licitación de la opinión de los expertos, extrayendo así del equipo natural de trabajo los valores máximos, mínimos y más probables de la demanda para cada tipo de repuesto analizado.

➤ **Curva de Impacto Total:**

Representa la sumatoria punto a punto del costo total anualizado asociados a las curvas de mantener el inventario de repuestos, más la curva de impacto económico de no contar con el repuesto. El punto óptimo se obtendrá en esta curva en aquel valor donde la sumatoria de las curvas del inventario de repuestos más la curva de impacto económico de no contar con el repuesto, toma el menor valor, tal como se observa en la gráfica 7.



Fuente: Medina, R. Propuesta de modelo matemático para la implementación de la metodología de confiabilidad optimización de costos de riesgo de inventarios.

Modelo matemático para el stock de seguridad:

El cálculo del stock de seguridad, corresponde al nivel de inventario establecido para evitar consecuencias a causa de la posible variación en la demanda que puedan superar el lote de repuestos disponibles. La representación matemática para definir el stock de seguridad será establecida por la ecuación 3.

$$SS = S_m \times (\text{Desviación estándar de la demanda} / \text{Tasa promedio de utilización mensual})$$

Dónde:

SS: Stock de Seguridad

S_m : Stock mínimo: es aquella cantidad de repuestos que necesita la línea de producción para satisfacer su demanda. Este nivel mínimo supone el límite inferior de existencias del repuesto analizado. El stock mínimo tiene una íntima relación con el consumo de un repuesto en un tiempo determinado (# días, meses, años), y el tiempo de reposición que estimamos para la llegada del producto, con el uso de la ecuación 4 podemos obtener este importante valor.

$$S_m = C \times T$$

Dónde:

S_m : Stock mínimo

C : Consumo del producto (piezas/ (días, meses, años))

T : Tiempo de reposición (días, meses, años)

Modelo matemático para el tiempo entre pedidos:

En cuanto al cálculo del punto de reorden o tiempo entre pedidos se establece en la ecuación 5:

T = Tamaño del pedido / Demanda del repuesto

Dónde:

T: Tiempo óptimo entre pedidos

2.4.4.5 Etapa 5, análisis de resultados

La documentación de los resultados y la validación de estos es parte esencial de esta fase, ya que permitirá al equipo natural de trabajo, contraponer los resultados con la experiencia y percepción de cada uno de los entes involucrados en el proceso de producción, a fin de darle una aprobación final y puesta en marcha a los resultados obtenidos.

2.4.5 Beneficios de la implementación de la metodología OCRI

- Genera una base de datos capaz de integrar información técnica, de operación, instalación, adquisición, logística, mantenimiento y políticas de almacén de cada parte o repuesto necesaria para garantizar la operación de la empresa. (Medina 2013).
- Ajustar la cantidad de existencias de repuestos en almacén a la demanda, de forma que no se disponga de excedentes de mercancía que son una inversión y se corre el riesgo de su obsolescencia. (Medina 2013).
- Establece la mejor estrategia de inventarios considerando la metodología costos basado por actividad. (Medina 2013).
- Ajuste de los niveles de inventarios al contexto operacional, esto permitirá garantizar operaciones con menor riesgo de parada o falla de la planta por indisponibilidad del repuesto a la par de un negocio más rentable. (Medina 2013).

- Permite reducir altos costos incurridos por sobre estimación de inventarios. (Medina 2013).
- Permite reducir altos costos por almacenamiento y mantenimiento de partes y repuestos al considerar los tiempos de obsolescencia. (Medina 2013).
- Mitiga riesgos de paro en la planta, por indisponibilidad de la parte o repuesto. (Medina 2013).
- Genera estrategias para la conformación de un inventario “seguro”. (Medina 2013).
- Permite conocer el número de partes que se debe tener en almacén, evitando asumir riesgos innecesarios y altos costos de almacenamiento. (Medina 2013).
- Al diferenciar el inventario en artículos "A", "B" y "C", permite que la empresa determine el nivel y los tipos de procedimientos de control de inventario necesarios, por ejemplo, a cuáles artículos aplicar una optimización con base en costo – riesgo. (Medina 2013).
- El control de los artículos "A" del inventario, debe ser muy intensivo por razón de la inversión considerable que se hace. A este tipo de artículos se les debe implementar las técnicas más sofisticadas de control de inventario. (Medina 2013).
- En los artículos "B" se pueden controlar utilizando técnicas menos sofisticadas pero eficientes en sus resultados. (Medina 2013).
- En los artículos "C" el control que se realiza es mínimo. (Medina 2013).

2.5 Método y técnicas

El método es el procedimiento que orientan al trabajo científico de la investigación, las técnicas norman el uso de instrumentos en la aplicación del método de investigación.

2.5.1 Método científico

Iglesias (1981) expone: "El método es un camino, un orden, conectado directamente a la objetividad de lo que se desea estudiar.... Las demostraciones metodológicas llevan siempre de por medio una afirmación relativa a las leyes del conocimiento humano en general...".

Bunge (2004) expone: "El método científico es la estrategia de la investigación para buscar leyes...".

Kerlinger (1988) expone acerca del método científico como: "La manera sistemática en que se aplica el pensamiento al investigar, y es de índole reflexiva".

De la Torre (1995) expone "un proceso lógico, surgido del raciocinio de la inducción".

Balseiro (1991), expone: el método general de la ciencia "es un procedimiento que se aplica al cielo entero de la investigación en el marco de cada problema de conocimiento".

Etapas del método científico

El método científico consta de las siguientes etapas (Ruiz 2007):

- La elección del tema
- Planteamiento del problema
- Delimitación del problema

- Justificación del problema de investigación
- Objetivos de la investigación
- Estructuración del esquema de investigación.
- Marco teórico
- Elaboración de la hipótesis.
- Metodología
- Anexos o gráficos
- Bibliografía.

2.5.2 Técnicas de investigación documental

Ruiz (1999) expone: Las técnicas de investigación documental, centran su principal función en todos aquellos procedimientos que conllevan el uso óptimo y racional de los recursos documentales disponibles en las funciones de información.

2.5.3 Técnicas de investigación de campo

Ruiz (1999) expone: desarrollar el tipo de instrumentos ex profeso, así como la forma y condiciones en que habrán de recolectarse los datos necesarios para cada caso, diseñar el instrumento adecuado, establecer la forma y condiciones en que se levantarán los datos; es una actividad por demás importantísima que necesita de toda la atención, no pueden errarse en tal actividad, porque como dice comúnmente: “Los errores cuestan, tiempo y dinero”; es decir debemos prever las consecuencias que habría en caso de equivocarnos en la elección del instrumento y en su estructuración, puesto que el tipo de datos esperados, y los tiempos de su aplicación deben ser los requeridos para medir el comportamiento de las variables, y en consecuencia poder probar la hipótesis.

3. METODOLOGÍA

La metodología contiene la explicación en detalle de qué y cómo se hizo para resolver el problema de la investigación relacionado con la administración de inventarios de repuestos para equipos y maquinaria industrial, en la industria de manufactura de empaques y envases de papel o cartón para productos alimenticios en el municipio de Guatemala.

El contenido del presente capítulo comprende: definición del problema; objetivo general y objetivos específicos; hipótesis y especificación de las variables; método científico; y, las técnicas de investigación documental y de campo utilizadas. En general, la metodología presenta el resumen del procedimiento usado en el desarrollo de la investigación.

3.1 Definición del problema

El sector industrial de manufactura de empaques y envases de papel o cartón para alimentos en el municipio de Guatemala se ha incrementado en los últimos años. La introducción de industrias alimenticias multinacionales y el crecimiento de industrias locales que procesan alimentos en el sector industrial en el municipio de Guatemala, han demandado una mayor fabricación de productos para almacenar y contener alimentos, para su comercialización en los mercados locales. Las industrias multinacionales que procesan alimentos, cuentan con certificaciones internacionales que demandan el cumplimiento de procedimientos e instructivos dentro de los procesos de producción de los alimentos; esto aplica también a las organizaciones locales certificadas, las cuales requieren de las mismas certificaciones lo cual ha motivado que los fabricantes de las máquinas y equipos, a desarrollar nuevas tecnologías que garanticen el cumplimiento de los procedimientos, mejorando el sistema de control de calidad que garantiza calidad, inocuidad y características especificadas del empaque por las industrias que procesan los alimentos, entre otros cambios que han surgido en las últimas décadas.

Guatemala no se ha desarrollado en el sector industrial para la fabricación de maquinaria y equipo utilizado en la industria manufacturera de empaques y envases de papel o cartón para alimentos; en su mayoría, su procedencia es internacional. Estos equipos requieren de repuestos originales y genéricos para ser instalados en una posible falla correctiva o durante un mantenimiento preventivo por parte del departamento responsable, con el objetivo de mantener un alto índice de disponibilidad para producir, reduciendo el tiempo de paro de los equipos, el cual es equivalente al costo de no producción para la organización. El inconveniente de contar con una diversidad de equipos que han sido fabricados en diferentes países, así como equipos que presentan constantes cambios en la tecnología utilizada para operar, genera un problema de inadecuada administración del inventario de repuestos de los equipos y maquinarias que fabrican los diferentes tipos de empaques, provocando la compra de repuestos innecesarios, incrementando el costo del inventario y bajos indicadores de rotación del inventario.

La base teórica propuesta para solucionar el problema de la administración de inventarios de repuestos, se realizará con investigaciones en los estados financieros de los años 2015, 2016 y 2017 de las empresas estratificadas en el medio sector, con fundamentos en la metodología de repuestos basados en confiabilidad, previamente el departamento de mantenimiento debe contar con las políticas necesarias para la intervención de sus equipos en tareas planificadas y no planificadas. Al disponer de una estrategia definida por parte del área de mantenimiento, teniendo en cuenta el tiempo que demanda el requerimiento de la compra, así como las cantidades necesarias, reflejaran los costos acordes al ritmo de producción de la organización. Las políticas en las cuales se rige el departamento de mantenimiento, deben fundamentarse en los manuales del fabricante, así como del constante aprendizaje por las experiencias específicas en cada organización que obligan a realizar modificaciones en los criterios originales del fabricante.

La confiabilidad radica en aprender y determinar la clasificación correcta en repuestos de alta y baja rotación, determinar qué repuestos comprar, las cantidades acordes a los flujos de rotación y establecer el momento adecuado en el cual serán utilizados. Esto implica una constante revisión y ajustes al método hasta alcanzar los niveles adecuados para su funcionamiento.

3.2 Objetivos

Los objetivos son los propósitos o fines de la investigación. En la presente investigación se plantean objetivos generales y específicos.

3.2.1 Objetivo general

Diseñar una propuesta de metodología basada en la confiabilidad para la administración del inventario de repuestos, en el sector objeto de estudio.

3.2.2 Objetivos específicos

1. Evaluar la situación de administración de inventarios de repuestos en la industria manufacturera en el sector objeto de estudio, incluyendo el análisis de la situación financiera, costos de operación, liquidez, costo de inventarios, rotación del inventario, clasificación de repuestos de baja rotación, alta rotación, críticos y no críticos, costos por importación de repuestos y tiempos de despacho por parte del fabricante de repuestos.
2. Establecer el comportamiento de la demanda del repuesto, determinar los costos asociados, definir la cantidad mínima de repuestos a solicitar en función del menor costo, concluir el nivel de inventario de seguridad, estimar el tiempo entre pedidos, realizar simulaciones de los posibles escenarios, conocer las variables con mayor sensibilidad y evaluar los resultados, tomando en consideración las políticas de mantenimiento, metodología de compra, frecuencia de pedido, cantidad, tiempos de transporte, entre otros.

3. Comparar los resultados proyectados por la implementación de la metodología para la administración de inventarios de repuestos basado en la confiabilidad, para comprobar los beneficios económicos y confirmar la hipótesis planteada.

3.3 Hipótesis

La hipótesis siguiente expone en forma clara y objetiva la propuesta de solución al problema de la investigación:

La implementación de la metodología en la industria manufacturera mejora la administración del inventario de repuestos.

3.3.1 Especificación de variables

Variable Independiente

Administración de inventarios de repuestos aplicando la metodología basada en la confiabilidad.

Variables dependientes:

1. Disminución de los costos de operación
2. Aumento de la liquidez
3. Reducción del costo del inventario de repuestos
4. Aumentar la rotación del inventario de repuestos
5. Mejora de los ciclos de pedidos de los repuestos críticos
6. Control de los tiempos de despacho por parte del fabricante del repuesto.

3.4 Método científico

La presente investigación relacionada con la administración de inventarios de repuestos en el sector objeto de estudio, se fundamenta en la aplicación del método científico, utilizando técnicas de investigación como instrumentos en la aplicación del método empleado.

3.5 Técnicas de investigación aplicadas

Las siguientes técnicas de investigación documental y de campo fueron utilizadas para la presente investigación.

3.5.1 Técnicas de investigación documental

Son todas aquellas que tienen fundamento en documentos disponibles que tratan el tema objeto de la investigación.

3.5.4.1 Ficha bibliográfica (libro)

Se tomaron y evaluaron los libros que exponen los métodos relacionados con la administración del inventario.

3.5.4.2 Ficha bibliográfica (manuales del fabricante de la maquinaria y equipo)

Se revisaron manuales de fabricantes de equipos y maquinaria utilizados para la realización de empaques y envases del sector objeto de estudio. En los manuales se encuentran rutinas de mantenimiento y la descripción de procesos que incluyen el uso de repuestos específicos requeridos durante el mantenimiento; la frecuencia determinada por el fabricante para la realizaciones de los diferentes tipos de mantenimientos, ha sido tomada de registros, evaluaciones y experiencias propias que determinan un tiempo medio dado en días, horas, ciclos, entre otros, el cual, si se realiza como fue establecido, el equipo opera sin inconvenientes; también

permite establecer la frecuencia en la cual los repuestos deben solicitarse para contar con ellos previo a la intervención de los equipos.

3.5.4.3 Ficha de información electrónica (información extraída de medios electrónicos, por ejemplo, internet.)

Por las particularidades del manejo del inventario de repuestos utilizados por maquinaria y equipo en el sector objeto de estudio, se realizan consultas a tesis, en las cuales tratan el tema del manejo del inventario de repuestos en términos generales, detallan métodos matemáticos y estadísticos, se evalúan las técnicas para adaptarlas al sector objeto de estudio de esta investigación.

También se consultan artículos electrónicos en internet de expertos que tratan el tema el manejo de repuestos, los cuales muestran métodos y consideraciones particulares que orientan al lector a entender, así como comprender las variables de costos y riesgos que intervienen en el manejo adecuado del inventario.

3.5.2 Técnicas de investigación de campo

Entre las técnicas de investigación de campo utilizadas están:

3.5.2.1 Observación:

En la industria que produce empaques y envases para alimentos, se observan situaciones particulares que determinan comportamientos en el manejo del inventario. Esta técnica es útil para entender el ambiente interno y externo en el cual operan los equipos y maquinaria.

Los fabricantes establecen frecuencias de intervenciones que requieren de repuestos, sin embargo, situaciones particulares en las cuales, un repuesto es requerido sin haber sido descrito dentro de una rutina, conlleva a tomar actividades reactivas y no preventivas, la observación permite establecer las

causas particulares y establece los mecanismos que permiten reducir, así como controlar este tipo de situaciones.

3.5.2.2 Entrevista a expertos:

Se efectuaron entrevistas a expertos del sector objeto de estudio (ver anexo 1), estos expertos son personas con una trayectoria en el manejo del inventario de repuestos de equipos y maquinarias en industrias que producen empaques y envases de papel o cartón para uso en el área alimenticia; estas personas poseen conocimientos y experiencias que han registrado durante años; esta información es de utilidad para comprender variables particulares del sector objeto de estudio.

3.5.3 Análisis de escenarios

Es necesario la realización de simulaciones de múltiples escenarios, para comprobar la funcionalidad y uso del método propuesto para la administración de los repuestos, los escenarios permitirán medir el riesgo mediante la probabilidad de éxito o fracaso del resultado final, por medio de los valores utilizados en los cálculos realizados, debido a que no se cuentan con valores específicos del sector, se realizarán simulaciones con valores medios y desviaciones estándar de cada variable utilizada.

4. EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN DE ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS DE REPUESTOS EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE EMPAQUES Y ENVASES DE PAPEL O CARTÓN PARA PRODUCTOS ALIMENTICIOS

En este capítulo se muestran los resultados y análisis de la investigación objeto de estudio, incluyendo la situación financiera, costos de operación, liquidez, costo de inventarios, rotación del inventario, clasificación de repuestos de baja rotación, alta rotación, críticos, no críticos, tomando en cuenta los tiempos de despacho de repuestos por parte del fabricante de la maquinaria o del proveedor directo del repuesto. Existen varias empresas que pertenecen al sector objeto de estudio, de las cuales se consideraron las empresas que muestran alta variedad de equipos productivos, elevada cantidad de repuestos y un considerable costo del inventario.

4.1 Situación financiera

A continuación, se presenta la situación financiera de las de las empresas estratificadas en el medio sector, se ha aplicado un factor de descomposición, para salvaguardar la confidencialidad respectiva.

Se muestra el balance general para los años 2015, 2016 y 2017.

Tabla 1: Balance general, cifras en quetzales

EMPRESA "RECIPIENTES, S. A."			
Descripción	2015	2016	2017
ACTIVO			
Corriente	162,009,598	178,655,270	194,584,926
Efectivo	3,461,411	6,401,396	7,298,895
Clientes	37,953,620	40,571,097	44,084,179
Otras cuentas por cobrar	36,869,234	39,938,138	41,635,509
Inventarios:			
Repuestos	5,237,530	5,957,690	7,068,799
Materia Prima	32,928,769	36,747,185	40,567,911
Producto Terminado	45,559,034	49,039,764	53,929,633
No corriente	65,477,527	59,427,453	55,493,035
Propiedades y equipo neto	57,188,996	50,604,342	45,569,434
Pagos Anticipados	8,288,531	8,823,111	9,923,601
Activo Total	227,487,125	238,082,723	250,077,961
PASIVO			
Corriente	55,413,371	56,858,390	57,992,254
Impuesto sobre la renta por pagar	4,798,460	5,022,325	5,298,112
Proveedores	41,931,468	43,593,516	44,792,338
Otras Cuentas por pagar	8,683,443	8,242,549	7,901,804
No corriente	43,281,719	37,365,325	32,332,364
Préstamos Bancarios	39,389,000	35,164,538	30,541,498
Cuentas por pagar a largo plazo	3,892,719	2,200,787	1,790,866
Pasivo Total	98,695,090	94,223,715	90,324,618
PATRIMONIO			
Capital autorizado	100,000,000	100,000,000	100,000,000
Reserva legal	2,912,823	3,666,172	4,460,889
Utilidad del Ejercicio	13,675,612	14,313,624	15,099,618
Utilidades retenidas	12,203,600	25,879,212	40,192,836
Patrimonio Total	128,792,035	143,859,008	159,753,343
Pasivo y Patrimonio Total	227,487,125	238,082,723	250,077,961

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

La cuenta de inventarios está clasificada en inventario de repuestos, materia prima y producto terminado. Debido al enfoque del análisis con base en el inventario de

repuestos, se analizó el comportamiento durante los últimos tres años, siendo el año 2017 el más reciente.

4.2 Costos de operación

Tabla 2: Estado de resultados, cifras en quetzales

EMPRESA "RECIPIENTES, S. A."			
Descripción	2015	2016	2017
<u>Ingresos</u>			
Ventas netas	311,095,242	325,872,266	342,002,943
Costo de producción y ventas	(263,544,475)	(276,176,745)	(289,676,493)
Utilidad en Ventas	47,550,767	49,695,521	52,326,450
<u>Gastos de Operación</u>			
Gastos de venta	(14,473,445)	(15,163,286)	(16,531,426)
Gastos de administración	(10,676,922)	(11,271,106)	(12,239,499)
Total gastos de operación	(25,150,366)	(26,434,393)	(28,770,925)
Utilidad de operación	22,400,401	23,261,128	23,555,525
<u>Otros ingresos gastos</u>			
Otros ingresos	848,963	904,504	972,724
Otros gastos	(4,055,523)	(4,076,334)	(3,335,802)
Total otros gastos neto	(3,206,560)	(3,171,830)	(2,363,078)
Utilidad antes de impuestos	19,193,841	20,089,298	21,192,447
Impuesto sobre la renta	(4,798,460)	(5,022,325)	(5,298,112)
Reserva Legal	(719,769)	(753,349)	(794,717)
Utilidad neta	13,675,612	14,313,624	15,099,618

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

Al analizar en forma vertical en el estado de resultados, específicamente en la cuenta: Costos de producción y ventas, tomando como referencia las ventas netas en cada año, se obtienen los siguientes datos:

Tabla 3: Análisis vertical costos de producción y ventas

Ingresos	AÑO 2015 Vertical	AÑO 2016 Vertical	AÑO 2017 Vertical
Costos de producción y ventas	84.72%	84.75 %	84.70%

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

Se observa un incremento del costo con respecto a las ventas en el año 2016 con un 84.75%, pero en el año 2017, el valor se reduce levemente a 84.70%, los costos de producción se comportan según el volumen de ventas netas.

4.3 Liquidez

Los indicadores de liquidez miden, la disposición monetaria de la empresa para cumplir con sus obligaciones a corto plazo. Para evaluar la liquidez de la organización, se calculó la razón ácida; este indicador mide la capacidad para cumplir con sus obligaciones a corto plazo, sin considerar los inventarios o activos que no pueden convertirse en circulante en forma inmediata, para lo cual se usa la siguiente fórmula.

$$\text{Razón ácida} = (\text{AC} - \text{I}) / \text{PC}$$

En donde:

AC = Activos circulantes

I = Inventarios

PC = Pasivos circulantes (obligaciones de pago a corto plazo).

El cálculo de la prueba ácida se realizó en dos cuentas. El primer indicador considerando, el inventario total que incluye todos los inventarios de la empresa, entre ellos, repuestos, materia prima y producto terminado; la segunda, solamente considerando el inventario de repuestos.

Tabla 4: Indicadores de liquidez

INDICADOR	2015	2016	2017
PRUEBA ÁCIDA INVENTARIO TOTAL	1.41	1.53	1.60
PRUEBA ÁCIDA INVENTARIO REPUESTOS	2.83	3.04	3.23

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

La liquidez evaluada por medio de la prueba ácida, considerando todos los inventarios en los dos últimos años, muestra un aumento a 1.53 en el 2016 y al cierre del año 2017 a 1.60. Como el valor del inventario de repuestos crece en los años 2016 y 2017, al realizar el mismo análisis del indicador, considerando solamente el inventario de repuestos, puede notarse un aumento a 3.04 en el año 2016 y de 3.23 en el año 2017.

Al analizar el año 2017 para la prueba ácida, considerando solo el inventario de repuestos, indica que por cada quetzal que se tiene de obligación para pagar, se cuenta con 3.23 quetzales para cubrir con dicha obligación, al considerar todo el inventario para el último año, por cada quetzal de deuda, se dispone de 1.60 quetzales para cubrir con la obligación de pago.

4.4 Costo del inventario de repuestos

Los costos del inventario de las organizaciones que producen empaques y envases para productos alimenticios, es el siguiente:

Tabla 5: Costo del Inventario de repuestos

ACTIVOS	2015	2016	2017
Inventarios de repuestos	Q5,237,530	Q5,957,690	Q7,068,799

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

Los datos anteriores muestran el valor del costo de oportunidad del dinero invertido en los inventarios de repuestos utilizados en equipos productivos. El crecimiento anual, se determinará restando el valor del año actual con respecto al año anterior:

Crecimiento del Inventario = Valor Inventario Año actual – Valor Inventario año anterior.

Crecimiento año 2016 = Q5,957,690 - Q5,237,530 = Q720,160

Crecimiento año 2017 = Q7,068,799 - Q5,957,690 = Q1,111,109

Lo anterior muestra un crecimiento año con año del inventario de repuestos; la cantidad en cada año representa el valor que la empresa invierte en este tipo de inventarios.

4.4.1 Análisis Horizontal del inventario de repuestos

Al evaluar los valores del inventario de repuestos por medio del análisis horizontal entre los años 2016 y 2017, podemos verificar un incremento en la adquisición de repuestos que refleja los siguientes resultados:

Tabla 6: Análisis horizontal inventario de repuestos

ACTIVOS	AÑO 2016 Horizontal	AÑO 2017 Horizontal
Inventarios de repuestos	13.75%	18.65%

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada

El año 2016 muestra un crecimiento del 13.75% con respecto al valor del año 2015 y el año 2017 creció 18.65% con respecto al año 2016, teniendo un crecimiento mayor en el año 2017; una de las justificaciones es la compra de equipos nuevos productivos, lo cual se refleja en la cuenta de propiedades y equipo neto; sin embargo, al no contar con un control de inventarios de repuestos, este puede incrementarse sin alguna justificación. Se realizó el mismo análisis para los inventarios relacionados con la producción, el cual nos muestra los siguientes resultados.

Tabla 7: Análisis horizontal inventario de producción

ACTIVOS	% AÑO 2016 Horizontal	% AÑO 2017 Horizontal
Materia Prima	11.60%	10.40%
Producto Terminado	7.64%	9.97%

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada

El inventario de materia prima creció en los años evaluados. En el año 2016 un 11.60% con relación al año 2015, en el año 2017 un 10.40% con relación al año 2016. El inventario de producto terminado se incrementó en los mismos años, en el año 2016 un 7.64% con respecto al año 2015, en el año 2017 un 9.97% con respecto al año 2016. Una de las razones de estos crecimientos, se debe al aumento de la venta de productos, lo que obliga a mantener un stock más alto.

4.5 Rotación del Inventario

La rotación del inventario es un indicador que permite conocer el número de veces que se renueva la existencia de los artículos que conforman el inventario durante un determinado tiempo, generalmente se considera un año.

Rotación del Inventario = ventas a precio costo / Promedio de existencias

En donde:

Ventas a precio costo: son las unidades vendidas o valor monetario que representa el costo de venta dentro de un período de tiempo.

Promedio de existencias: es el promedio entre el período actual y el período anterior de las unidades existentes o el promedio entre el período actual y el período anterior del valor monetario en el almacén.

En la fórmula anterior se debe utilizar el mismo tipo de dimensional, unidades entre unidades o valor monetario entre valor monetario.

Se calculó la rotación del inventario de repuestos para los años 2016 y 2017.

Tabla 8: Indicador rotación del inventario de repuestos

INDICADORES	AÑO 2016	AÑO 2017
ROTACIÓN INVENTARIOS DE REPUESTOS	12.33	11.12

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

En el año 2016 la rotación del inventario de repuestos fue de 12.33 veces, en el año 2017 la rotación disminuyó a 11.12, indicando un menor movimiento con respecto al año anterior, lo cual confirma que el promedio del costo del inventario de repuestos es mayor en el año 2017 con respecto a las ventas del mismo año.

4.6 Días de inventario de repuestos

El indicador “días de inventario de repuestos”, determina la cobertura del inventario de repuestos en días que dispone la empresa. Contar con un alto número de días de inventario de repuestos, representa un alto costo de oportunidad invertido en los repuestos. Un valor bajo representa un riesgo alto de desabastecimiento de repuestos al no contar con una administración del inventario. Los días de inventario de repuestos se determina con la siguiente fórmula:

Días de inventario de repuestos = (promedio de existencias/ ventas a precio costo)*365

En donde:

365 son los días que comprende el período en el cual se está evaluando el indicador.

Se calcula los días de inventario de repuestos para los años 2016 y 2017

Tabla 9: Días de inventario de repuestos

INDICADORES	AÑO 2016	AÑO 2017
DÍAS DE INVENTARIO DE REPUESTOS	29.59	32.83

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

Evaluando los días de inventario de repuestos, el año 2017 es mayor que el año 2016 por 3 días aproximadamente; la empresa cuenta con una cobertura de 33 días de operación.

4.7 Clasificación de repuestos de rápido, regular y lento movimiento, por su valor monetario

La clasificación de repuestos por su movimiento dentro del inventario de repuestos puede ser determinado según las políticas de cada organización. Como los repuestos no se comportan igual que un insumo, material de producción o producto terminado, se han dividido en tres clases: rápido, regular y lento movimiento. Dentro de esta clasificación, se considera el valor monetario que representan aquellos artículos que mostraron un movimiento en un determinado período; el movimiento es representado por una salida o entrada al almacén de un artículo en específico, independientemente de la cantidad que ingresa o que sale del almacén. Se considera el valor monetario que refleja el repuesto dentro del inventario de repuestos, tomando como referencia, la fecha del último movimiento que muestra cada artículo, el cual, será comparado con el año que se hará el análisis.

Para calcular la cantidad años y determinar su clasificación como rápido, regular y lento movimiento, se realizará una resta entre el año en el que se hará el análisis y el año del último movimiento. En este estudio, se ha determinado la clasificación de la siguiente manera:

Tabla 10: Clasificación del inventario de repuestos, por la cantidad de años entre su último movimiento y el año en curso

ACTIVOS	DESCRIPCIÓN
RÁPIDO MOVIMIENTO	Diferencia de años ≤ 5 AÑOS
REGULAR MOVIMIENTO	10 AÑOS \geq Diferencia de años > 5 AÑOS
LENTO MOVIMIENTO	Diferencia de años > 10 AÑOS

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

Para determinar el valor del inventario de repuestos, se cuantifica la cantidad de existencia del artículo y se multiplica por su valor unitario, obteniendo el valor total del artículo dentro del almacén, es decir, el costo total de su existencia.

En el siguiente cuadro, se muestra la clasificación en quetzales de los repuestos que han tenido movimiento dentro de la clasificación del cuadro anterior, entre 0 y 5 años, entre 5 y 10 años y mayor a 10 años, segmentándolos como rápido, regular y lento movimiento respectivamente.

Tabla 11: Clasificación según su valor del inventario de rápido y lento movimiento

ACTIVOS	AÑO 2015	AÑO 2016	AÑO 2017
Rápido movimiento	Q2,671,140	Q2,859,691	Q3,180,960
Regular movimiento	Q1,885,511	Q2,144,768	Q2,615,456
Lento movimiento	Q680,879	Q953,230	Q1,272,384
Inventario de repuestos	Q5,237,530	Q5,957,690	Q7,068,799

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

En el cuadro anterior, los inventarios de rápido, regular y lento movimiento, muestran una tendencia a incrementarse; de continuar con esta tendencia, la cantidad de repuestos obsoletos será mayor con el transcurso de los años, afectando el Estado de Resultados al momento de darles de baja del inventario. Con la clasificación anterior, se podrán tomar acciones para evaluar el uso de los repuestos clasificados como “lento movimiento”, previo a darles de baja o que el equipo que lo utiliza sea dado de baja, convirtiéndose en repuestos obsoletos.

4.8 Clasificación de repuestos críticos y no críticos según valor en quetzales e importancia en los equipos

Para la clasificación de los repuestos críticos y no críticos, se tomó el último inventario realizado, el cual corresponde al año 2017. El año muestra un valor de Q7,068,799, con una cantidad de 2,147 unidades de distintos tipos de repuestos.

Los repuestos se clasifican con dos criterios: el primer criterio ABC, que clasifica los repuestos por su valor unitario dentro del inventario de repuestos, un tipo de repuesto con un costo mayor al promedio del “valor del inventario” será clasificado

como TIPO A, un repuesto que oscile en la media del costo, será clasificado como TIPO B y un repuesto con un valor bajo será clasificado como TIPO C.

El segundo criterio, el cual clasifica los repuestos según su criticidad, está contenido dentro de tres rangos, criticidad alta, media y baja. Esta clasificación determina la importancia del repuesto dentro del equipo o maquinaria, los repuestos con criticidad alta, representa los repuestos indispensables para la operación del equipo, los repuestos clasificados con criticidad baja, no representan variables que estén fuera del control de la empresa.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos al analizar el año 2017.

Tabla 12: Clasificación del inventario en porcentajes con base en criterios de costos e importancia para el funcionamiento de la maquinaria y equipo

CRITERIO ABC / CRITICIDAD	BAJA	MEDIA	ALTA	TOTAL
REPUESTOS TIPO A	17.85%	23.89%	27.54%	69.28%
REPUESTOS TIPO B	2.58%	4.58%	8.72%	15.88%
REPUESTOS TIPO C	3.15%	4.28%	7.41%	14.84%
TOTAL	23.58%	32.75%	43.67%	100.00%

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

Considerando la criticidad media y alta de los repuestos tipo A y B, nos muestra que el peso de dichos valores en el inventario, representan un 64.73%, los repuestos contenidos en ese valor, representan un mayor costo unitario así como una importancia alta. El 35.27% restante, lo conforman los repuestos con menor costo unitario y una importancia baja, quienes requieren leves controles y un bajo nivel de seguimiento por parte de los usuarios. Utilizando métodos como el EOQ (Cantidad económica de pedido)

En la siguiente tabla se muestra el valor en quetzales según la cantidad que representan dentro del inventario de repuestos del año 2017, así como la importancia para el funcionamiento de los equipos y maquinaria.

Tabla 13: Clasificación del Inventario en valor monetario con base en criterios de costos e importancia para el funcionamiento de la maquinaria y equipo

CRITERIO ABC / CRITICIDAD	BAJA	MEDIA	ALTA	TOTAL
REPUESTOS TIPO A	Q1,261,781	Q1,688,736	Q1,946,747	Q4,897,264
REPUESTOS TIPO B	Q182,375	Q323,751	Q616,399	Q1,122,525
REPUESTOS TIPO C	Q222,667	Q302,545	Q523,798	Q1,049,010
TOTAL	Q1,666,823	Q2,315,032	Q3,086,944	Q7,068,799

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

El valor en moneda local, considerando la criticidad media y alta de los repuestos tipo A y B, nos muestra un valor de Q4,575,634, siendo críticos en valor e importancia, los cuales serán analizados con una mayor prioridad que el resto de los repuestos. El resto del inventario, formado por repuestos con menor costo unitario y menor importancia tiene un valor de Q2,493,165.

Al analizar la cantidad de repuestos que conforman el valor del inventario según los criterios evaluados, integrado por un total de 2,147 unidades, se observa lo siguiente:

Tabla 14: Clasificación del Inventario por cantidad de repuestos con base en criterios de costos e importancia para el funcionamiento de la maquinaria y equipo

CRITERIO ABC / CRITICIDAD	BAJA	MEDIA	ALTA	TOTAL
REPUESTOS TIPO A	286	74	47	407
REPUESTOS TIPO B	189	114	81	384
REPUESTOS TIPO C	620	421	315	1,356
TOTAL	1,095	609	443	2,147

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

El menor número de repuestos se clasifica en los criterios alta tipo "A" con una cantidad de 47 unidades, la clasificación media tipo "A" con 74, alta tipo "B" con 81 y media tipo "B" con 114, sumando un valor total de 316, consideradas como prioridades.

Para una evaluación en porcentaje, se coloca el valor para cada criterio tomando como referencia las 2,147 unidades que contiene el inventario de repuestos.

Tabla 15: Clasificación del Inventario en porcentaje por cantidad de repuestos con base en criterios de costos e importancia para el funcionamiento de la maquinaria y equipo

CRITERIO ABC / CRITICIDAD	BAJA	MEDIA	ALTA	TOTAL
REPUESTOS TIPO A	13.32%	3.45%	2.19%	18.96%
REPUESTOS TIPO B	8.80%	5.31%	3.77%	17.88%
REPUESTOS TIPO C	28.88%	19.61%	14.67%	63.16%
TOTAL	51.00%	28.37%	20.63%	100.00%

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

El valor del porcentaje correspondiente a la cantidad de artículos críticos dentro de los criterios evaluados es del 14.72%.

Otro indicador por evaluar es el costo promedio según los criterios analizados, este promedio se obtiene dividiendo el valor monetario de cada clasificación, entre las unidades de repuestos en cada clasificación, obteniendo la siguiente información:

Tabla 16: Clasificación del Inventario del valor promedio por repuesto con base en criterios de costos e importancia para el funcionamiento de la maquinaria y equipo

CRITERIO ABC / CRITICIDAD	BAJA	MEDIA	ALTA
REPUESTOS TIPO A	Q4,412	Q22,821	Q41,420
REPUESTOS TIPO B	Q965	Q2,840	Q7,610
REPUESTOS TIPO C	Q359	Q719	Q1,663

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

Los repuestos más críticos, muestran un valor de promedio alto con respecto al resto de repuestos, esto confirma la importancia e impacto económico de la disponibilidad de algunos repuestos con relación al resto, lo anterior, permite concentrar controles y seguimiento en repuestos específicos.

4.9 Tiempos de importación de repuestos

Los tiempos de importación de repuestos, depende del país de origen del fabricante, también dependerá del medio de transporte a utilizar. La decisión de importar un repuesto por vía terrestre, aérea o marítima depende de las condiciones y necesidades en las cuales es requerido el repuesto. En la actualidad, importar repuestos por la vía terrestre, aplicará en aquellos casos en el cual el país de fabricación esté muy cercano a la ciudad de Guatemala, el uso más común es la vía aérea, debido a los costos y tiempos ofrecidos al transportarlos en condiciones normales de entrega, sin embargo, dependerá del peso del repuesto, dado que el costo del transporte aéreo está relacionado a las dimensiones y peso del mismo, para aquellos repuestos de gran tamaño y volumen, la opción más eficiente en costo es la vía marítima, sin embargo el tiempo de traslado del país de origen al país de destino es mayor.

Se realizaron varias entrevistas al personal de importaciones de las empresas objeto de estudio (ver anexo 1), acorde a los resultados, depende de la ubicación del fabricante y el medio utilizado para la importación del repuesto, son los días que demora la importación, a continuación se detallan los días promedio necesarios durante el transporte en condiciones normales, esto significa que los tiempos indicados son promedios, sin embargo, al requerirse un repuesto con carácter urgente, los tiempos indicados son menores pero los costos son mayores a las tarifas estándar.

Tabla 17: Tiempo promedio de importación de repuestos por lugar de procedencia

PROCEDENCIA	AÉREO (DÍAS)	MARÍTIMO (DÍAS)
USA	8	15
Europa	10	30
Asia	10	45

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

5. DISEÑO DE LA PROPUESTA DE LA METODOLOGÍA BASADA EN LA CONFIABILIDAD PARA LA ADMINISTRACIÓN DEL INVENTARIO DE REPUESTOS

Este capítulo muestra los resultados de la investigación y análisis relacionado a la investigación objeto de estudio, tomando en consideración las políticas de mantenimiento, metodología de compra, frecuencia de pedido, cantidad y costos de transporte entre otros.

La metodología basada en la confiabilidad para la administración del inventario, considera varias etapas, debiéndose realizar en un orden lógico así como secuencial, para obtener el modelo matemático adecuado a las empresas del sector objeto de estudio, este método con base en la especificación del fabricante, experiencias propias del departamento de mantenimiento, políticas del departamento de mantenimiento en relación a la compra de repuestos, análisis de fallos, información histórica del uso de los repuestos críticos, se puede establecer una metodología para determinar el modelo matemático que se ajuste de mejor manera a la empresa.

5.1 Levantamiento del listado de repuestos a analizar

En esta etapa de la metodología basada en la confiabilidad para la administración del inventario de repuestos, debe enfocarse en aquellos repuestos que no describen un comportamiento predecible, los repuestos que muestran un comportamiento uniforme de uso común, permiten anticiparse de manera eficiente a la compra y reducen los costos de producción por la falta de disponibilidad de los equipos o sobre costos por mantener una cantidad mayor de repuestos a la requerida.

Se utilizaron técnicas de investigación para obtener la información de los repuestos, la cual permitirá seleccionar los que serán sometidos al análisis, estos serán clasificados por diferentes criterios y confirmando los resultados por el

personal de mantenimiento con base a la experiencia, considerando todas las variables que intervienen de cada empresa, clasificando los repuestos con criterios específicos, entre los criterios a analizar se encuentran:

- El repuesto debe representar un alto costo de adquisición
- El repuesto es comercializado fuera del país
- El repuesto representa un tiempo prolongado de entrega
- El repuesto es utilizado en equipos críticos que afectan los resultados productivos de la organización.

5.1.1 Identificación de repuestos dentro del inventario

Todo repuesto debe contar con una codificación única, esto permitirá dar trazabilidad al repuesto, para el modelo, se tomará en cuenta la frecuencia de uso por parte del personal de mantenimiento, para efectos de este análisis, no será considerado la frecuencia de ingreso al almacén.

La codificación podrá ser numérica, alfabética o una combinación alfanumérica, permitiendo la identificación del equipo o equipos que utilizan ese repuesto en particular, el código del repuesto podrá tener la codificación propia del fabricante y la codificación propia del almacén de la empresa, ambos códigos permiten la trazabilidad con el proveedor así como dentro del inventario de repuestos.

La estructura del código posee 3 partes importantes: código propuesto, descripción del repuesto e identificación única del fabricante.

Ejemplo de codificación alfanumérica:

IR NXXYYY Cilindro Neumático Mod: 987654

Explicando cada componente de la codificación:

Código del repuesto (IR NXXYYY):

- IR = inventario de repuestos
- N = componente neumático
- XX = número del equipo o maquinaria al cual pertenece el repuesto
- YYY= número correlativo del repuesto

Descripción del repuesto:

- Cilindro Neumático: es la descripción del repuesto, en esta parte se busca identificar al repuesto con un nombre que pueda ser ubicado por la mayoría del personal de la organización, evitando nombres en otros idiomas que dificulten la ubicación de este dentro del inventario de repuestos.

Identificación del fabricante:

- Mod: 987654: es el código interno del fabricante del repuesto, permite la identificación inmediata por parte del fabricante para dar información o cotizar el repuesto.

5.2 Búsqueda de la información histórica y técnica de cada repuesto a analizar

Para el ejemplo del cilindro neumático, se dispone de la siguiente información.

En la tabla que se presenta a continuación, en la columna “PERÍODO”, puede hacer referencia a una determinada unidad de tiempo (año, semestre, mes, días, entre otros), la columna llamada “CONSUMO”, muestra las veces que el repuesto fue utilizado y colocado en un equipo. Para el repuesto analizado, el período está dado en años.

Tabla 18: Veces de uso del repuesto utilizado en un período de tiempo

PERÍODO	CONSUMO
1	2
2	3
3	5
4	6
5	4
6	1
7	4
8	3
9	2
10	3
11	2
12	1
13	4
14	2
15	3
PROMEDIO	3

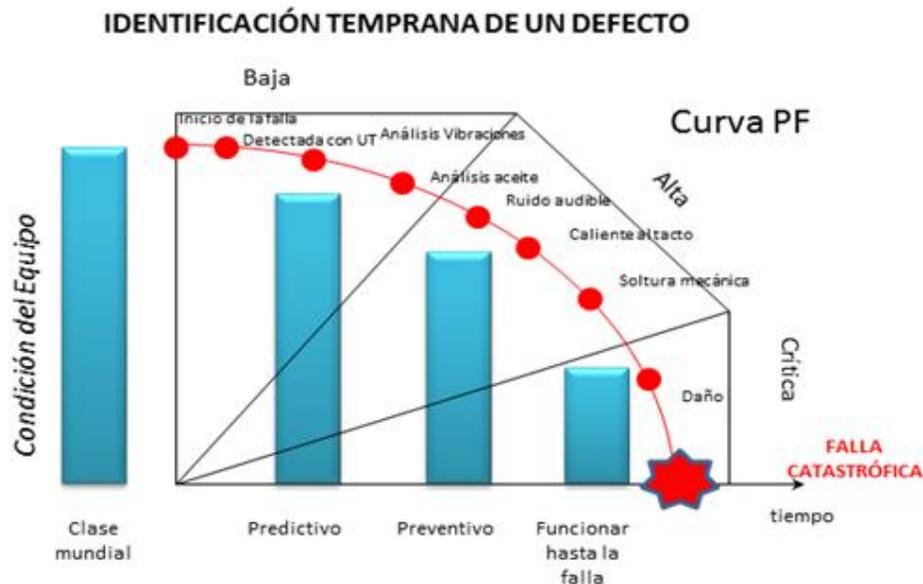
Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

De la tabla 18, al obtener el promedio anual, el valor es de 3 unidades, este dato es utilizado dentro de las políticas de abastecimiento en algunas empresas, para colocar la orden con esa cantidad al momento de llegar al mínimo de existencia.

5.2.1 Identificación temprana de un problema en un equipo

Puede realizarse de varias formas, entre ellas, se puede recurrir a fuentes primarias como el fabricante del equipo, así como consultarles sobre el uso de los repuestos específicos que no están indicados dentro del manual del equipo que ellos han proporcionado, otra opción es consultar a los expertos del departamento de mantenimiento, mediante varias entrevistas (ver anexo 1), quienes se encuentran monitoreando y analizando el comportamiento del repuesto, determinando el momento preciso en el cual se debe realizar el requerimiento del repuesto, lo cual permite sustituirlo previo al paro no programado del equipo, la curva que muestra la identificación temprana de una falla se conoce como la curva PF, en la cual se determina el punto de falla potencial y el punto de falla funcional.

Gráfica 8: Identificación temprana de un defecto



Fuente: Kaizen-group. Consultado en línea. Identificación temprana de un defecto

El método anterior requiere de una serie de controles así como evaluaciones constantes por parte del departamento de mantenimiento, también requiere una gestión de mantenimiento evolucionada con altos costos de inversión iniciales y un control alto de variables que pueden incidir en el tiempo que demorará la falla potencial a la falla final.

5.2.2 Determinar la frecuencia de uso de cada repuesto a analizar

De no contar con la opción anterior, se puede obtener la frecuencia del uso del repuesto mediante la determinación de probabilidades que describan la utilización durante un determinado tiempo, la utilización de softwares o programas estadísticos, los cuales permiten caracterizar la distribución que describe la probabilidad del uso del repuesto en un determinado período de tiempo.

Para el caso del repuesto analizado y utilizando la información de la Tabla 18, los cuales se ingresaron al software Crystal Ball, la caracterización probabilística que se ajusta al comportamiento de uso del repuesto durante los años históricos es la distribución binomial, el software devuelve la siguiente información:

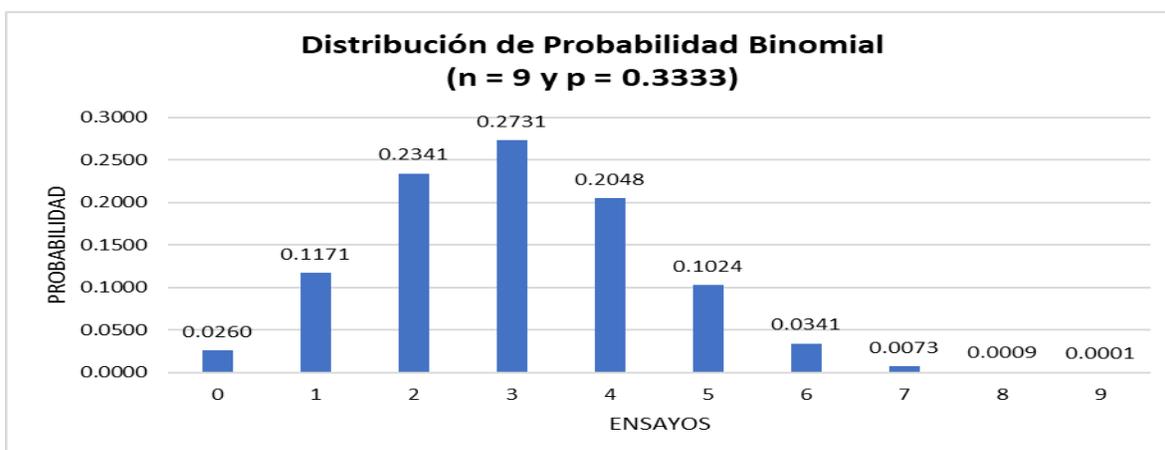
Caracterización de probabilidad = Binomial

Ensayos = 9

Probabilidad de éxito = 0.3333

A continuación, utilizando la información del número de ensayos ($n = 9$) o demanda del repuesto y la probabilidad de éxito ($p = 0.3333$), se obtiene la siguiente gráfica la cual muestra el valor de la probabilidad de éxito en el (eje y), según el número de repuestos utilizados (eje x).

Gráfica 9: Distribución de probabilidad que describe el requerimiento del repuesto analizado



Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

Al observar la gráfica 9, la probabilidad de utilizar 3 repuestos durante un año es del 27.31%, siendo la probabilidad más alta.

5.3 Creación de la base de datos del repuesto con varias fuentes de información

En esta sección se muestra toda la información histórica, técnica y la información de los expertos a través de varias entrevistas (ver anexo 1), que se ha recopilado sobre un repuesto en particular, dentro de la cual se incluyen todos los costos

relacionados a la compra del repuesto, así como a los costos que serán incurridos por no contar con él.

Se muestra la información relacionada con el repuesto analizado:

- Costo del repuesto = Q. 28,500.00
- Requerimiento promedio anual = 3
- País del fabricante = Estados Unidos
- Vía de transporte = aéreo

5.3.1 Costos relacionados con los repuestos

La adquisición de un repuesto conlleva costos implícitos, entre ellos se pueden mencionar:

La cantidad de piezas a comprar o lote del repuesto, el costo del repuesto, el costo de almacenamiento, costos de impuestos por la importación aplicado cuando el fabricante del repuesto se ubica en el exterior, costos de obsolescencia y costos por almacenar los repuestos dentro del almacén son calculados con base en los registros de costos del departamento de logística, los costos de obsolescencia, según la opinión de expertos, puede oscilar entre el 3% y 10% del valor del repuesto. Depende de las características propias del repuesto, de las condiciones del fabricante, el país en donde se ubica el fabricante, los impuestos aplicados por la importación y de cada organización para determinar si los costos indicados dependen del valor del repuesto o son costos fijos independientes al volumen de la compra.

Adicionalmente existen posibles costos que se incurrirían por no contar con el repuesto de manera oportuna, determinan el riesgo incurrido dentro de la organización por no cubrir la demanda de los clientes, se puede dividir estos costos en dos áreas principales, una de ellas es el costo por generar o colocar la

orden de compra y el costo o riesgo por no cubrir la demanda de producción por la ausencia del repuesto. Los costos por generar o colocar la orden, corresponden a la administración propia de cada organización, representa un costo fijo independiente del valor y cantidad del repuesto, uno de estos costos es el costo por transferencia bancaria por el pago realizado entre la organización que requiere del repuesto y el proveedor de este. Sin embargo, también existen costos fijos por colocar el pedido con carácter urgente.

Los costos incurridos por no cubrir la demanda, pueden clasificarse en costos de no producir, integrando los costos relacionados a la falta de cumplimiento con el cliente, demandas económicas por falta de cumplimiento de contratos, atrasos en procesos productivos posteriores, si se cuenta con equipos de respaldo que pueden cubrir la demanda, este riesgo se considera con un valor de cero. El costo por el impacto que genera el repuesto en la seguridad del operador, debe cuantificarse si dicho repuesto no se dispone en el almacén. El costo por impacto ambiental relaciona los costos generados al medio ambiente por la ausencia del repuesto en el equipo, por ejemplo, si es un filtro que separa partículas de aceite del agua y el agua se drena a un proceso posterior el cual no está diseñado para tratar aceite, se puede estimar los costos por la falta del filtro. El costo por mantenimiento correctivo estima todos los costos que conlleva la reparación de emergencia del equipo, dependerá de cada administración del departamento de mantenimiento, estimar el costo por cada hora invertida por el personal necesario para reestablecer el equipo en una situación no programada.

Para el repuesto analizado, mediante información almacenada en registros se obtuvieron los siguientes costos por mantener el Inventario:

- Costo de almacenamiento = Q.2,280.00
- Costo de impuestos = Q.3,420.00
- Costo de obsolescencia = Q.1,140.00

➤ Costo de mantenimiento = Q.855.00

Para el mismo repuesto analizado, se obtuvieron mediante registros y entrevistas a expertos (ver anexo 1), los siguientes costos por riesgo:

Días para ingresar el repuesto = 10

Horas por día que trabaja el equipo productivo = 22

Costo por hora de no contar con el equipo disponible para producir = Q.550.00

Horas requeridas para la reparación del equipo = 12

Costo de mantenimiento por hora = Q.80.00

Costo por emitir la orden de compra al exterior = Q.950.00

Costo Impacto Económico de Producción IEP = a los días que demora el ingreso del repuesto se multiplica por la cantidad de horas promedio por día que trabaja el equipo productivo, multiplicando también el costo por hora que representa el equipo por no producir = $10 \times 22 \times Q.550.00 = Q.121,000.00$

Costo Impacto Económico en Seguridad IES = Q.1,250.00

Costo Impacto Económico Ambiental IEA = Q.350.00

Impacto Económico en Reparación del Equipo IERE = a las horas requeridas por el departamento de mantenimiento para la reparación del equipo, se multiplican por el costo por hora que incurre el departamento por la intervención, considerando la proporción de los costos fijos y costos variables = $12 \times Q.80.00 = Q.960.00$

5.4 Aplicación del modelo matemático

La aplicación del modelo matemático permite establecer la curva total de costos que se genera a partir de dos gráficas, la ecuación para la gráfica de costos de mantener el repuesto, así como la ecuación de costos por no contar con el repuesto. Al variar la cantidad del repuesto en cada ecuación y al totalizar el valor de ambas ecuaciones, se generará las curvas en función de la cantidad del repuesto, entre ellas la curva del valor por tener el repuesto, la curva de riesgo por no contar con el repuesto y la curva total de costos. También permite establecer el stock de seguridad necesario del repuesto para evitar desabastecimientos ante la variación de la demanda del repuesto. Por último, el modelo determina el tiempo entre pedidos para evitar desabastecimientos en el almacén por no colocar el pedido en el momento preciso.

5.4.1 Determinación de la curva de costos total

La curva de costo total se genera a partir de las dos gráficas, una generada por el valor por almacenar los repuestos y la otra formada por el impacto económico o riesgo de no contar con el repuesto, al variar la cantidad del repuesto en cada ecuación aplicando los costos asociados específicamente al repuesto, se obtiene el valor total, el costo menor indicará la cantidad óptima a comprar para mantener en el almacén.

5.4.1.1 Determinación de la curva de costos de almacenamiento

$$CMI = 0.5 \times Q \times (CR + CA + CI + CD + CO + CM)$$

Donde:

CMI = Costo de mantener el inventario

Q = Lote de repuesto

K = Constante con valor de 0.5 (ecuación del costo de mantener el inventario).

CR = Costo del repuesto

CA = Costo de almacenamiento

CI = Costos de impuestos

CD = Costos de depreciación (en Guatemala no existe esta depreciación contable, por lo cual, no será considerada en los siguientes cálculos).

CO = Costos de obsolescencia

CM = Costos por mantener el repuesto en el almacén.

Tomando como referencia la compra de un cilindro neumático, se toma el precio último histórico registrado, se consideran valores máximos y mínimos que puede tomar cada variable, estos valores dependen de cada repuesto a analizar, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 19: Costos de mantener el inventario del repuesto analizado

COSTO DE MANTENER EL INVENTARIO				
DESCRIPCIÓN	VALOR	\bar{X}	MÁXIMO	MÍNIMO
Q	1			
COSTO REPUESTO	Q28,500.00	Q28,500.00	Q29,500.00	Q28,000.00
COSTO TOTAL	Q28,500.00			
K	0.5			
Q	1			
CR	Q28,500.00			
CA	Q2,280.00	8.00%	10.00%	6.00%
CI	Q3,420.00	12.00%	15.00%	12.00%
CD	Q0.00	0.00%	0.00%	0.00%
CO	Q1,140.00	4.00%	10.00%	2.00%
CM	Q855.00	3.00%	4.00%	2.00%
TOTAL CMI	Q18,097.50			

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

El costo por mantener el inventario de una unidad del cilindro neumático es de Q.18,097.50.

5.4.1.2 Determinación de la curva de impacto económico o riesgo

$$R = (D/Q) \times CEO + (P_{\text{demanda} > Q}) \times (IEP + IES + IEA + IERE)$$

R = Riesgo o egreso económico

D = Demanda del repuesto

Q = Lote de repuesto

CEO = Costos de emitir la orden

$P_{\text{demanda} > Q}$ = Probabilidad de que la demanda sea mayor que el lote de repuesto (Q)

En este punto, como se tiene la probabilidad de la demanda, derivado de la caracterización probabilística en la cual, para este ejemplo, la distribución binomial es la que mejor se ajusta al comportamiento de la demanda del repuesto, al mostrar el valor más alto de ajuste (chi cuadrado). La probabilidad de que la demanda sea mayor que el lote de repuesto es:

$$P_{\text{demanda} > Q} = 1 - P_{\text{frecuencia de uso}}$$

Utilizando el software Excel, se ingresaron los siguientes parámetros en la fórmula:

$$P_{\text{demanda} > Q} = 1 - (\text{DISTR.BINOM.N}(K6,9,0.33333,\text{FALSO}))$$

En donde,

K6 = es la celda en la cual se encuentra el número del lote de repuestos (número de éxitos)

9 = número de ensayos independientes de la distribución binomial

0.3333 = Probabilidad de éxito en cada ensayo de la función binomial

Falso = para usar la función de distribución no acumulativa

Gráfica 10: Parámetros ingresados a Excel de la distribución de probabilidad que describe el requerimiento del repuesto analizado

Argumentos de función

DISTR.BINOM.N			
Núm_éxito	B3	↑	= 1
Ensayos	9	↑	= 9
Prob_éxito	0.33333	↑	= 0.33333
Acumulado	FALSO	↑	= FALSO

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

IEP = Impacto económico en producción

IES = Impacto económico en seguridad

IEA = Impacto económico ambiental

IERE = Impacto económico en reparación del equipo.

Para calcular el costo por riesgo de no contar con el repuesto y cubrir la demanda de producción, se enlistan los costos asociados, los valores máximos así como mínimos que puede tomar cada variable, este análisis depende de cada repuesto a evaluar.

Tabla 20: Costos de riesgo por no contar con el repuesto analizado

COSTO POR RIESGO				
DESCRIPCIÓN	VALOR	\bar{X}	MÁXIMO	MÍNIMO
DÍAS ING. REP.	10	10	12	7
HORAS PROD.	22	22	24	20
COSTO X HORA	Q550.00	Q550.00	Q620.00	Q390.00
HORAS REP. MANT.	12	12	15	10
COSTO MANT. X HR	Q80.00	Q80.00	Q110.00	Q70.00
D	3	3	4	2
Q	1			
CEO	Q950.00	Q950.00	Q1,100.00	Q900.00
P	0.882941161			
IEP	Q121,000.00			
IES	Q1,250.00	Q1,250.00	Q1,300.00	Q1,100.00
IEA	Q350.00	Q350.00	Q450.00	Q300.00
IERE	Q960.00			
TOTAL RIESGO	Q111,946.21			

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

El costo de riesgo por contar con una unidad y no poder cubrir la demanda es de Q. 111,946.21.

5.4.1.3 Determinación de la curva de costos totales

La curva de costos totales, se obtiene al sumar el costo de mantener el inventario y el costo de riesgo o egreso económico por no contar con el repuesto con el mismo valor de Q (lote del repuesto).

$$CCT = CMI + R$$

CCT = Curva de costo total

CMI = Costo de mantener el inventario

R = Riesgo o egreso económico

Se presentan los resultados de cada curva con diferente cantidad de repuestos, tomando las siguientes consideraciones para el primer valor 0, siendo el equivalente de no contar con un repuesto en el almacén, muestra un valor de costo total de Q.263,207.73, para este caso, el cilindro neumático toma valores discretos, sin embargo, en la ecuación para estimar el costo del riesgo por no contar con el repuesto, la demanda es dividida por la cantidad (Q.) del repuesto, si se coloca el valor de 0, el resultado es indefinido, sin embargo, al colocar un valor positivo cercano a 0, el resultado muestra un valor de costo hacia el infinito positivo, para fines prácticos de este análisis, se coloca un valor de 0.02., lo cual muestra el valor de Q.263,207.73, confirmando el costo de no contar con un repuesto, para el resto de valores se colocan valores discretos que oscilan entre 1 a 9 unidades.

Tabla 21: Cálculo del costo total según la cantidad a comprar del repuesto analizado

NO. REPUESTOS	COSTO CMI	COSTO RIESGO	COSTO TOTAL
0.02	Q361.95	Q262,845.78	Q263,207.73
1	Q18,097.50	Q111,946.21	Q130,043.71
2	Q36,195.00	Q96,057.85	Q132,252.85
3	Q54,292.50	Q90,762.17	Q145,054.67
4	Q72,390.00	Q98,962.01	Q171,352.01
5	Q90,487.50	Q111,474.94	Q201,962.44
6	Q108,585.00	Q119,816.71	Q228,401.71
7	Q126,682.50	Q123,063.24	Q249,745.74
8	Q144,780.00	Q123,803.26	Q268,583.26
9	Q162,877.50	Q123,870.39	Q286,747.89

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

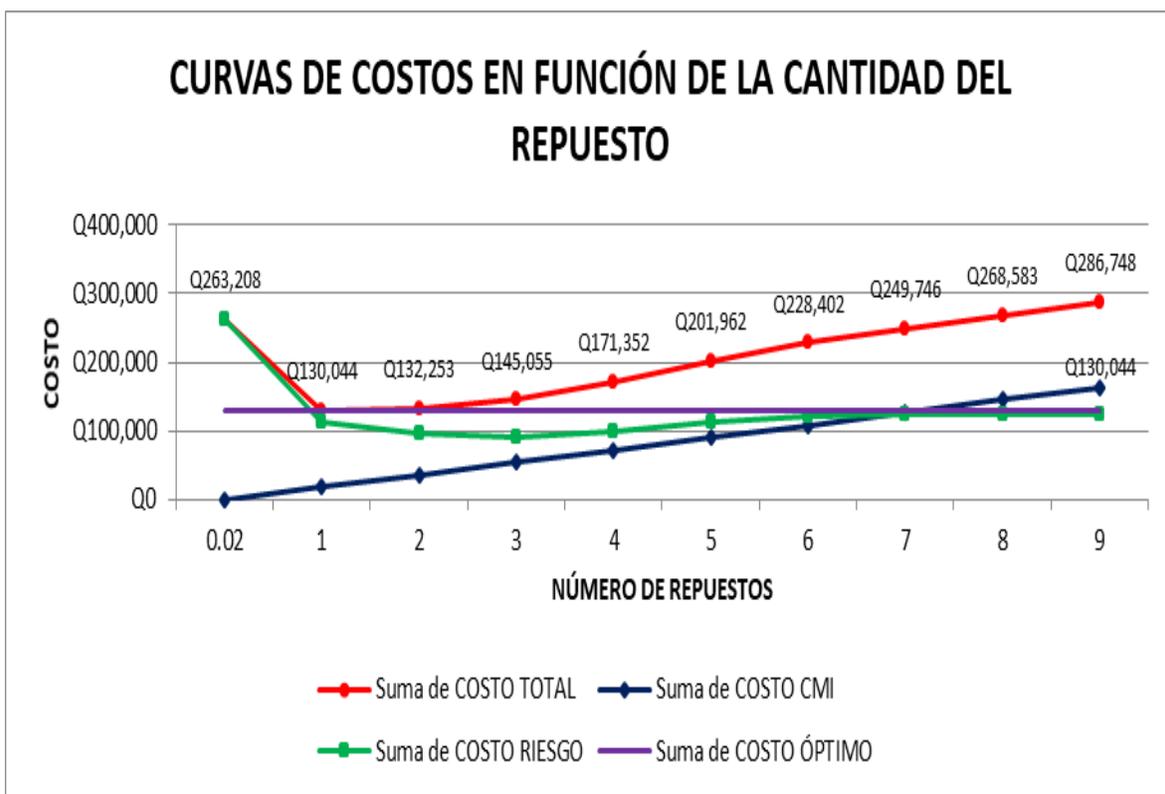
Se obtiene el menor costo total con un valor de 1 unidad del cilindro neumático a comprar, con un costo total de Q.130,043.71, con un valor menor o mayor a 1 unidad, el costo total se incrementa.

El costo de mantener el inventario del repuesto, muestra una curva con un crecimiento constante que está relacionado con la cantidad en existencia, su

menor costo será cuando no se tengan unidades y crecerá, según el valor de las unidades dentro del inventario. El costo de riesgo muestra una curva, abierta hacia el eje positivo “y”, es menor cuando se tienen 3 unidades, con un valor de Q.90,762.017, pero su valor aumenta, si las unidades son menores o mayores a 3.

Los valores anteriores generan la siguiente gráfica que contiene las tres curvas, curva de costos por mantener el inventario, curva de riesgo por no contar con el repuesto y curva de costos total.

Gráfica 11: Curvas de costos en función de la Cantidad a comprar del repuesto analizado



Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

5.4.2 Modelo matemático para el stock de seguridad

Para calcular el stock de seguridad SS, el modelo requiere de las siguientes fórmulas:

$SS = S_m \times (\text{Desviación estándar de la demanda anual} / \text{Tasa promedio de utilización anual})$

SS = Stock de seguridad

S_m = Stock mínimo

En donde el stock mínimo (S_m), se calcula como:

$S_m = C \times T$

C = Consumo del producto (piezas en días, meses, año)

T = Tiempo de reposición (días, meses, año)

Calculando los resultados con la información del repuesto:

$T = 10 \text{ días} / 365 = 0.0274 \text{ año}$

$C = 3 \text{ unidades/año}$

$S_m = 0.0274 \text{ año} \times 3 \text{ unidades/año} = 0.0822 \text{ unidades}$

El consumo del producto es equivalente al promedio de todos los años evaluados, para el caso del cilindro neumático es de 3 unidades, tomando el tiempo de reposición en días (10 días), y convirtiéndolo a años, el resultado es de 0.0271, al multiplicarlo por un consumo promedio de 3 unidades por año, el resultado es 0.0822 unidades.

Para calcular el stock de seguridad:

La desviación estándar obtenida de la tabla 18 es de 1.414213562

$SS = S_m \times (\text{Desviación Estándar de la demanda anual} / \text{Tasa promedio de utilización anual})$

$$SS = 0.0822 \text{ unidades} \times (1.4142 \text{ unidades} / 3 \text{ Unidades})$$

$$SS = 0.0387 \text{ unidades}$$

A continuación, se muestra el resumen de los valores para calcular el Stock de Seguridad.

Tabla 22: Cálculo del Stock de Seguridad del repuesto analizado

STOCK DE SEGURIDAD	
DESCRIPCIÓN	VALOR
DESV. ESTÁNDAR	1.4142
TASA PROM. UTIL.	3
C	3
T	0.0274
SS	0.0387

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

Como es una variable discreta, y considerando el tiempo para abastecer el inventario de repuestos (10 días), se considera un stock de seguridad de una unidad, al momento de ser utilizado el repuesto, se procederá con la compra de otra unidad, teniendo el menor costo total y manteniendo una unidad por cualquier requerimiento no planificado.

5.4.3 Modelo matemático para determinar el tiempo entre pedidos

$$T = (\text{Tamaño del pedido}) / (\text{Demanda del repuesto})$$

T = Tiempo óptimo entre pedidos.

$$T = 1 \text{ unidad} / 3 \text{ unidades} / \text{años} = 0.33 \text{ año}$$

$$T = 0.33 \text{ año} \times 12 \text{ meses/año} = 4 \text{ meses}$$

$$T = 4 \text{ meses} \times 30 \text{ días/mes} = 120 \text{ días.}$$

Como la demanda promedio es 3 unidades por año, el modelo determina que el tiempo entre pedidos, debe realizarse a cada 4 meses o cada 120 días.

Se adjunta el resumen de los cálculos realizados para obtener el tiempo entre pedidos.

Tabla 23: Cálculo del tiempo entre pedidos del repuesto analizado

TIEMPO ENTRE PEDIDOS	
DESCRIPCIÓN	VALOR
T. PEDIDO	1
DEM. DEL REP.	3.00
TEP Años	0.33
MESES	4.00
DÍAS	120.00

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

5.5 Simulaciones de escenarios para determinar el nivel de confianza del modelo matemático

Las simulaciones descritas a continuación, mostrarán el grado de confiabilidad para el cálculo del costo total del repuesto, considerando todas las variaciones de los valores que intervienen en cada ecuación para obtener el costo total, cada variable posee una distribución que muestra la probabilidad de ocurrencia del resultado, en función del valor que puede adoptar dentro de la ecuación. Este proceso se realiza a través del método de Montecarlo, el cual permite cambiar aleatoriamente cada variable, utilizando el software Crystal Ball, el cual permite cambiar cada variable en función de la distribución de probabilidad que describe su comportamiento.

5.5.1 Resultados de la simulación, utilizando el stock óptimo de repuesto

Considerando el número de repuestos de una unidad a comprar, según el resultado obtenido de la curva de costos totales, utilizando el método de Montecarlo por medio del software Crystal Ball, se realizará con la información

descrita en las tablas No. 19 (Costo de mantener el inventario) y 20 (Costos por riesgo), en cada tabla se observa los valores máximos y mínimos que puede tomar cada variable, datos que serán utilizados para la simulación con el método Montecarlo. Los datos estimados con base en información recabada en el caso del costo del repuesto y que pueden tomar valores máximos y mínimos, se utiliza una distribución continua triangular, indicando el valor esperado, así como el valor mínimo y máximo que puede tomar, esto le permite restringir al simulador, los valores que el software tomará para la simulación, respetando la distribución de probabilidad, la cual dará énfasis a los valores con mayor probabilidad de ocurrencia.

5.5.2 Ingreso de variables en el software Crystal Ball

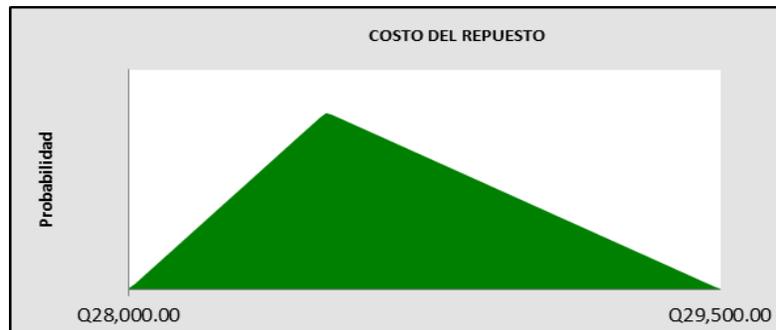
Se detalla el comportamiento de la variable “costo del repuesto”, el cual tiene un costo promedio (más probable) de Q.28,500.00, según registros históricos, este repuesto tiene un costo mínimo de Q.28,000.00 y un costo máximo de Q.29,500.00, estos parámetros son ingresados en una distribución triangular, la cual describe este tipo de comportamiento. En el software Crystal Ball, se ingresa esta variable seleccionando el comportamiento de ésta, como una distribución triangular, a continuación se resumen los datos de la variable “costo del repuesto”.

Tabla 24: Parámetros del costo del repuesto utilizados en la simulación del repuesto analizado

PARÁMETRO	VALOR
Mínimo	Q28,000.00
Más Probable	Q28,500.00
Máximo	Q29,500.00

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

Gráfica 12: Distribución de la probabilidad del costo ingresado en la simulación del repuesto analizado



Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

En la gráfica anterior, la probabilidad más alta, se encuentra ubicada en el valor esperado de Q.28,500.00, los valores máximos y mínimos están en los extremos, los cuales tienen una menor probabilidad de ocurrencia.

Para el resto de las variables que influyen en los costos de mantener el inventario y los costos de riesgo, serán descritas en los anexos de este trabajo.

La variable de salida se define como la suma de los resultados de las ecuaciones del costo por mantener el inventario y el costo de riesgo, el software colocará variables aleatorias y registrará el valor del “costo total”, para el caso en el cual se comprará una unidad, se detallan los siguientes resultados.

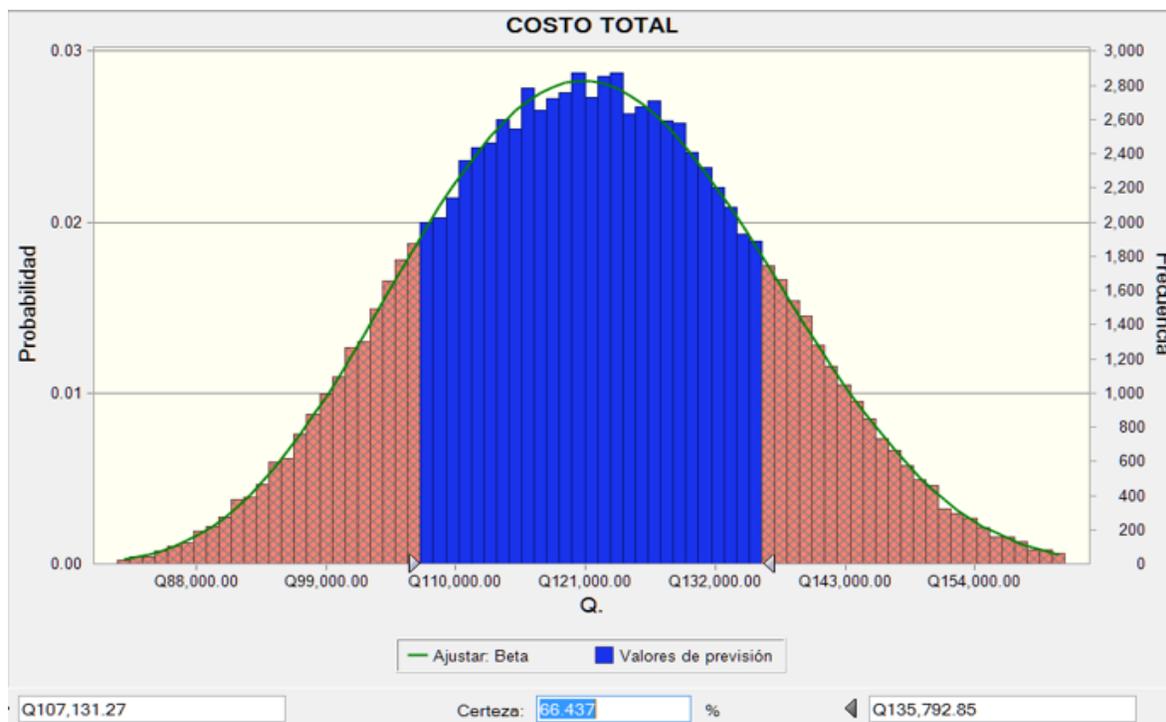
Tabla 25: Costo total por adquirir la cantidad óptima determinada con la metodología basada en la confiabilidad del repuesto analizado

NO. REPUESTOS	COSTO CMI	COSTO RIESGO	COSTO TOTAL
1	Q18,097.50	Q111,946.21	Q130,043.71

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

Durante la simulación, se realizaron 100,000 iteraciones, simulando los diferentes valores aleatorios que pueden tener cada variable por la compra de un cilindro neumático, formando la siguiente gráfica:

Gráfica 13: Distribución de probabilidad resultado de la simulación de comprar un cilindro neumático cercano al indicado por la metodología con base en la confiabilidad del repuesto analizado



Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

En el eje x se muestran los valores del costo total que se obtienen en los diferentes escenarios por la compra un cilindro neumático, teniendo como resultado final, una distribución beta, con una media de Q.121,462.06, una mediana de Q.121,313.56 y una desviación estándar de Q.14,330.79, el área total bajo la curva de la distribución beta muestra el 100% de probabilidad de ocurrencia, indicado en el eje vertical izquierdo, en el eje vertical derecho se muestra la frecuencia de cada valor. El área sombreada en el centro de la gráfica, muestra la probabilidad que ocurrencia tomando como referencia la media de la muestra, sumando el valor de la desviación estándar para el límite derecho y restando el valor de la desviación estándar al valor de la media, para definir el límite izquierdo, el resultado es una probabilidad de certeza del 66.437%.

En resumen:

1. El nivel de certeza es 66.437%
2. El rango de certeza es de Q107,131.27 a Q135,792.85
3. El rango completo es de Q76,804.14 a Q173,631.75
4. El caso base es Q130,043.71
5. Después de 100,000 pruebas, el error estándar de la media es Q45.32

A continuación, se muestra una tabla con los deciles en función de los valores pronosticados del costo total.

Tabla 26: Distribución de probabilidad con base en deciles de la simulación de obtener un valor cercano al indicado por la metodología con base en la confiabilidad del repuesto analizado

DECILES	Valores pronosticados
1	Q102,831.37
2	Q108,798.77
3	Q113,411.15
4	Q117,452.47
5	Q121,313.15
6	Q125,161.19
7	Q129,226.68
8	Q133,946.20
9	Q140,284.34
10	Q173,631.75

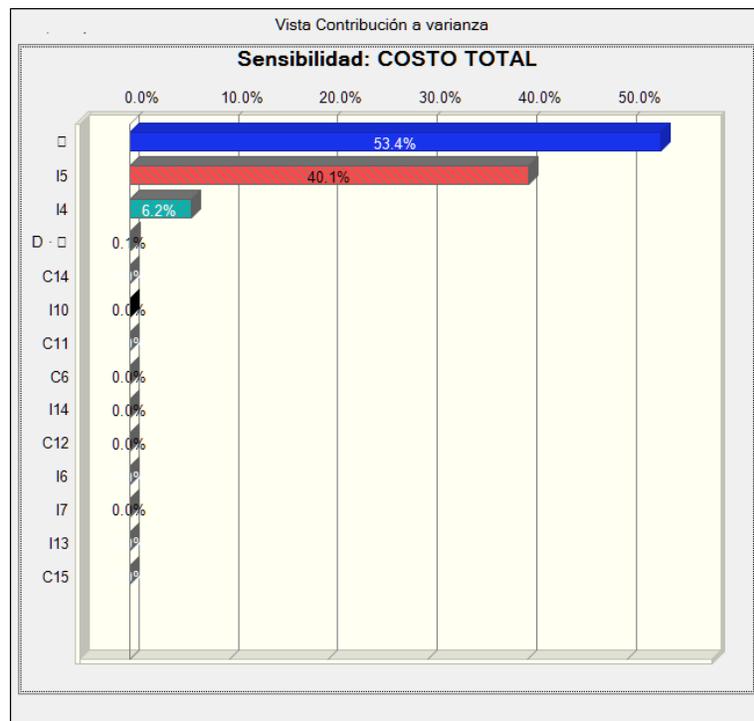
Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

Los deciles dividen en diez partes la distribución de los valores, la cual representan un décimo de la población, el decil 5 representa el 50% de la probabilidad equivalente al valor de la mediana de la población.

5.5.3 Variables sensibles resultantes de la simulación

Posterior a la realización de la simulación, es importante conocer las variables más sensibles que afectan significativamente el resultado del costo total. A continuación, se colocan las variables con mayor sensibilidad en esta metodología.

Gráfica 14: Clasificación de las variables por su sensibilidad dentro de la simulación del repuesto analizado



Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

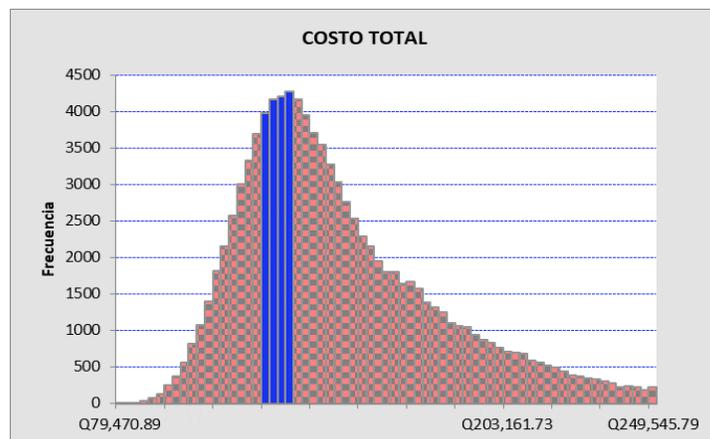
De la gráfica anterior, se observan tres variables que influyen significativamente en el resultado del costo total, la variable con mayor influencia (primera barra), de arriba hacia abajo, son los días en los que el repuesto demora en ingresar, la siguiente variable que influye (segunda barra) es el costo por hora del equipo productivo detenido por la falta de un repuesto. Por último, la variable que influye (tercera barra), son las horas que un equipo productivo produce por día. Cualquier variación en las variables anteriormente indicadas, incrementan o reducen

significativamente el resultado del costo total por la compra de un cilindro neumático.

5.5.4 Simulación con todos los posibles valores del número de repuestos para determinar la probabilidad de ocurrencia con relación al costo total

Se describe los resultados al simular todas las variables, incluyendo la cantidad de repuestos a comprar, tomando en cuenta la distribución de probabilidades que describe el uso del repuesto, el simulador considera la probabilidad del uso en las simulaciones realizadas.

Gráfica 15: Distribución de probabilidad considerando todas las cantidades posibles de compra del repuesto analizado



Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

A continuación, el resumen de la gráfica generada:

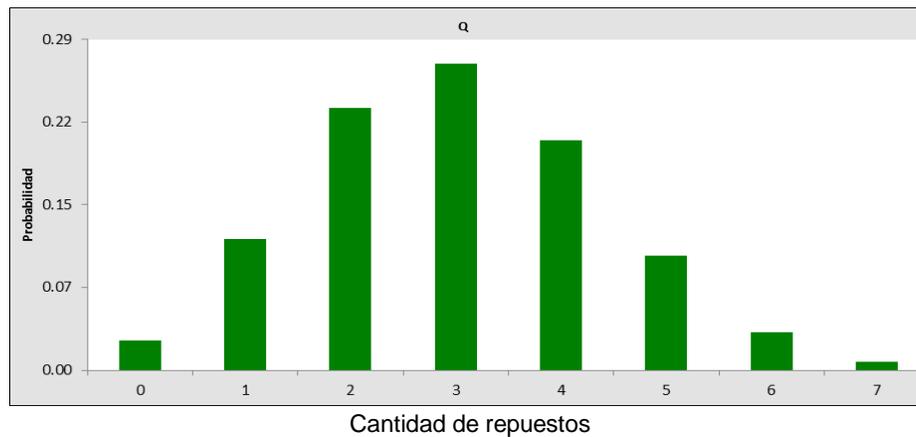
Tabla 27: Resumen de la simulación considerando todas las cantidades posibles de compra del repuesto analizado

Resumen:
El nivel de certeza es 16.176%
El rango de certeza es de Q125,000.00 a Q135,000.00
El rango completo es de Q78,182.44 a Q357,291.55
El caso base es Q130,043.71
Después de 100,000 pruebas, el error estándar de la media es Q112.04

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

El área sombreada debajo de la cresta de la gráfica, representa el valor posible por la compra de uno o dos repuestos, los cuales se encuentran en la zona con mayor frecuencia, el rango oscila entre Q.125,000.00 a Q.135,000.00. Sin embargo, la forma que muestra la gráfica es similar a la caracterización probabilística que describe la compra del repuesto.

Gráfica 16: Caracterización probabilística por la utilización del cilindro neumático



Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

Ambas gráficas muestran una tendencia hacia la derecha, de lo anterior se puede concluir que las variables que tienen una caracterización de probabilidad definida, al realizar las simulaciones, el resultado, mostrará la misma tendencia, derivado que el software tomará el comportamiento de las variables de entradas para mostrar los resultados de la simulación en la gráfica.

6. RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA

El este capítulo se presentan los resultados proyectados para los años 2018, 2019 y 2020, el análisis de la implementación de la metodología objeto de estudio y la confirmación de la hipótesis planteada, con base en: determinar los requerimientos de mantenimiento de cada máquina, determinar los requerimientos de repuestos dado su contexto operacional y sus requerimientos de mantenimiento y asegurar que los sistemas, procedimientos y recursos estén disponibles para cumplir con el mantenimiento y la disponibilidad de repuestos, mejorando la rotación de inventarios, costos de existencias, acorde a las políticas del departamento de mantenimiento de la organización.

6.1 Análisis evaluativo de la situación histórica y actual, de la administración de inventarios de repuestos, en las empresas manufactureras de empaques y envases para productos alimenticios.

La evaluación realizada sobre la situación de la administración de inventarios de repuestos en las empresas del sector manufacturero de empaques y envases de papel o cartón para alimentos en el municipio de Guatemala, describe un crecimiento en los años 2016 y 2017, al confirmar este crecimiento en la tabla No. 6, en el balance general, la cuenta de propiedades y equipo neto, en su integración, confirma la adquisición de equipos nuevos, esta información adicional se muestra en el anexo 2, esto podría justificar el crecimiento del inventario de repuestos, sin embargo, al evaluar la situación histórica y actual de la administración de inventarios de repuestos, los indicadores financieros como la rotación de inventarios de repuestos y los días de inventario de repuestos, muestran los siguientes resultados:

Tabla 28: Indicadores financieros analizados en la administración del inventario de repuestos años 2016 y 2017

INDICADORES	2016	2017
ROTACIÓN DE INVENTARIOS DE REPUESTOS	12.33	11.12
DÍAS DE INVENTARIO DE REPUESTOS	29.59	32.83

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

La rotación de inventarios de repuestos en el año 2016 fue de 12.33 y en el año 2017 fue de 11.12, el inventario de repuestos tiene una menor rotación en el año 2017 con relación al año 2016. El otro indicador, días de inventario de repuestos, el año 2016 muestra un valor de 29.59 días, y en el año 2017 tiene un valor de 32.83 días, esto implica que la empresa tiene un incremento en los días de abastecimiento del inventario.

6.2 Beneficios del uso de la metodología basada en la confiabilidad para la administración del inventario de repuestos

Los resultados presentados en el capítulo 5, demuestran los beneficios económicos de implementar la propuesta de la metodología para la administración de inventarios de repuestos basado en la confiabilidad. Confirmando la cantidad de repuestos a comprar, en donde el valor del costo total, que resulta al sumar el costo por mantener un repuesto y el costo de riesgo por no tener un repuesto, en donde el costo es menor, mostrando el valor óptimo de inversión.

Tomando como ejemplo la compra del cilindro neumático, se determinó un consumo promedio anual de 3 unidades, si la empresa decide comprar este repuesto según la demanda promedio anual de los últimos años, el costo total sería de Q.145,054.67 (tabla 21), en cambio, si se compra una unidad, el costo total será de Q130,043.71 (tabla 25), teniendo una diferencia de Q.15,010.96, solamente en un repuesto. Sin embargo, si no se compra con base a un consumo promedio histórico, y pensemos que un repuesto puede comprarse con otros criterios, la diferencia sería mayor, al encontrar más repuestos con estas

características, la empresa podrá mostrar un ahorro financiero importante, debido a que este dinero, puede ser utilizado en proyectos que reflejan mayores beneficios, que si los invirtiera en adquirir el inventario de repuestos.

La metodología toma en cuenta muchas variables que influyen directamente en el costo total del inventario de repuestos, las empresas pueden agregar otras variables, o descartar aquellas que no afectan, sin embargo, cada repuesto crítico puede representar un mayor impacto, ya sea por su costo, por la distancia en la cual el repuesto es fabricado, tiempo de importación, pagos de impuestos, costo por hora que la planta de producción no opera, entre otras variables.

La metodología basada en la confiabilidad, no solo muestra la cantidad óptima a comprar con un menor costo, también indica el stock mínimo de piezas que deben tenerse en el inventario de repuestos por cualquier requerimiento inmediato, así como el tiempo en el cual debe solicitarse este repuesto, toda esta información, dependerá de las características propias de cada repuesto.

Es importante mencionar que la metodología basada en la confiabilidad, permite cuantificar en valores monetarios los costos del inventario de repuestos, tomando decisiones con base a un valor que confirme el costo de tomar cualquier decisión teniendo todas las variables identificadas y cuantificadas.

Las simulaciones permiten obtener la probabilidad de éxito a través de una cantidad de iteraciones con valores dentro de un rango previamente establecido, confirmando el nivel de confianza en el uso de la metodología basada en la confiabilidad, obteniendo resultados con base en el comportamiento del consumo del repuesto, al considerar todas las variables de costos que se incurren por mantener un repuesto dentro del almacén, así como los costos de riesgo por no contar con el repuesto. Considerar los comportamientos de las variables por medio de caracterizaciones probabilísticas, demuestra el grado de confiabilidad de los resultados del sistema.

6.3 Hipótesis planteada al aplicar la metodología para la administración de inventarios en las empresas manufactureras de empaques y envases para productos alimenticios

La hipótesis planteada en el inciso 3.3, en donde se indica que la implementación de la metodología basada en la confiabilidad para la administración del inventario de repuestos en la industria manufacturera de empaques y envases de papel o cartón para productos alimenticios en el municipio de Guatemala, permite cambiar las siguientes variables dependientes:

1. Disminución de los costos de operación
2. Aumento de la liquidez
3. Reducción del costo del inventario de repuestos
4. Aumentar la rotación del inventario de repuestos
5. Mejora de ciclos de pedidos de los repuestos críticos
6. Control de los tiempos de despacho por parte del fabricante del repuesto.

Al declarar la variable independiente como “La administración de inventarios de repuestos aplicando la metodología basada en la confiabilidad”, se tomará los estados financieros proyectados para confirmar cada una de las variables dependientes confirmando la hipótesis en la cual, sí se reducen los costos para mejorar la administración del inventario de repuestos.

6.3.1 Situación financiera proyectada para los años 2018, 2019 y 2020

A continuación, se presenta la situación financiera proyectada del sector de las empresas que producen empaques y envases para productos alimenticios para los años 2018, 2019 y 2020, tomando como base la información del año 2017 y tendencias de los estados financieros de los años 2015 y 2016.

Tabla 29: Balance general proyectado, cifras en quetzales

EMPRESA “RECIPIENTES, S. A.”			
Descripción	2018	2019	2020
ACTIVO			
Corriente	207,556,913	223,195,811	238,886,076
Efectivo	8,109,498	8,309,581	9,217,061
Clientes	44,871,573	47,518,322	50,824,403
Otras cuentas por cobrar	43,405,018	45,249,731	47,172,845
Inventarios:			
Repuestos	6,962,767	6,872,251	6,391,194
Materia Prima	45,338,920	50,881,953	54,794,001
Producto Terminado	58,869,137	64,363,973	70,486,572
No corriente	54,898,428	52,538,280	51,292,975
Propiedades y equipo neto	43,982,467	40,530,723	38,084,662
Pagos Anticipados	10,915,961	12,007,557	13,208,313
Activo Total	262,455,341	275,734,091	290,179,051
PASIVO			
Corriente	59,078,766	60,169,766	62,035,813
Impuesto sobre la renta por pagar	5,475,453	6,010,426	6,262,160
Proveedores	46,136,108	47,289,511	48,920,999
Otras Cuentas por pagar	7,467,205	6,869,829	6,852,654
No corriente	27,196,871	21,501,558	15,438,597
Préstamos Bancarios	25,482,276	19,945,716	13,886,783
Cuentas por pagar a largo plazo	1,714,595	1,555,842	1,551,814
Pasivo Total	86,275,637	81,671,324	77,474,410
PATRIMONIO			
Capital autorizado	100,000,000	100,000,000	100,000,000
Reserva legal	5,282,207	6,035,556	6,830,273
Utilidad del Ejercicio	15,605,043	17,129,714	17,847,157
Utilidades retenidas	55,292,454	70,897,497	88,027,211
Patrimonio Total	176,179,704	194,062,767	212,704,641
Pasivo y Patrimonio Total	262,455,341	275,734,091	290,179,051

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

6.3.2 Costos de operación proyectado para los años 2018, 2019 y 2020

Para confirmar que la variable dependiente “Disminución de los costos de operación”, se realizó una proyección del Estado de resultados.

Tabla 30: Estado de Resultados proyectado, cifras en quetzales

EMPRESA "RECIPIENTES, S. A."			
Descripción	2018	2019	2020
Ingresos			
Ventas netas	358,590,086	379,741,522	406,161,981
Costo de producción y ventas	(303,815,450)	(324,953,365)	(347,561,946)
Utilidad en Ventas	54,774,636	54,788,157	58,600,035
Gastos de Operación			
Gastos de venta	(17,862,750)	(17,540,483)	(19,797,912)
Gastos de administración	(13,127,076)	(11,847,265)	(12,967,372)
Total gastos de operación	(30,989,826)	(29,387,747)	(32,765,284)
Utilidad de operación	23,784,810	25,400,410	25,834,751
Otros ingresos gastos			
Otros ingresos	1,040,431	1,112,850	1,190,311
Otros gastos	(2,923,427)	(2,471,556)	(1,976,421)
Total otros gastos neto	(1,882,997)	(1,358,706)	(786,110)
Utilidad antes de impuestos	21,901,814	24,041,704	25,048,641
Impuesto sobre la renta	(5,475,453)	(6,010,426)	(6,262,160)
Reserva Legal	(821,318)	(901,564)	(939,324)
Utilidad neta	15,605,043	17,129,714	17,847,157

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

Con base en la información histórica del estado de resultados de los años 2015, 2016 y 2017, se estimó un crecimiento anual 4.85% para el 2018, 5.9% para el 2019 de 6.96% para el 2020 en la cuenta "ventas netas". Para la cuenta "costo de producción y ventas", se proyectó con un valor del 84.73% para el 2018, 85.57% para el 2019 y 2020 con relación al valor de las "ventas netas", el comportamiento se debe al aumento en la proyección del costo de la materia prima, el costo por la compra de repuestos, se proyecta una reducción en el inventario en los años 2019 y 2020 (tabla 29).

6.3.3 Liquidez proyectada para los años 2018, 2019 y 2020

Para confirmar la variable dependiente "Aumento de la liquidez", se calcula la prueba ácida proyectada para los años 2018, 2019 y 2020, de la misma manera

que se realizó con los estados financieros históricos (prueba ácida inventario total y prueba ácida inventario de repuestos), se hará con los estados financieros proyectados, el primer indicador considerando, el inventario total que incluye todos los inventarios de la empresa, entre ellos, repuestos, materia prima y producto terminado y la segunda, solamente considerando el inventario de repuestos.

Tabla 31: indicadores de liquidez proyectado

INDICADOR	2018	2019	2020
PRUEBA ÁCIDA INVENTARIO TOTAL	1.63	1.68	1.73
PRUEBA ÁCIDA INVENTARIO REPUESTOS	3.40	3.60	3.75

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

La prueba ácida considerando el inventario total, muestra valores de 1.63 en el año 2018, 1.68 en el año 2019 y 1.73 en el año 2020, evidenciando un incremento leve en el indicador con respecto a los años 2015, 2016 y 2017, con valores de 1.41, 1.53 y 1.60 respectivamente (tabla 4), como el indicador representa la capacidad del cumplimiento de las obligaciones adquiridas a corto plazo, si aumenta el indicador, la liquidez aumenta. Al evaluar la prueba ácida tomando en cuenta, solamente el inventario de repuestos, el indicador es de 3.40 para el año 2018, 3.60 para el año 2019 y 3.75 para el año 2020. Si se consideran los valores obtenidos en los años 2015, 2016 y 2017 en donde muestran un valor de 2.83, 3.04 y 3.23, se confirma un aumento en la liquidez de la empresa al proyectar la reducción del inventario de repuestos y la implementación de la metodología de la administración del inventario de repuestos basado en la confiabilidad, a partir del año 2018.

6.3.4 Costo del Inventario de repuestos proyectado para los años 2018, 2019 y 2020

Al implementar la metodología basada en la confiabilidad para la administración del inventario de repuestos, permite confirmar la variable dependiente: “Reducción

del costo del inventario de repuestos” al proyectar el costo del inventario de repuestos para los años 2018, 2019 y 2020, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 32: Costo del inventario de repuestos

ACTIVOS	2018	2019	2020
Inventarios de repuestos	Q6,962,767	Q6,872,251	Q6,391,194

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

Los datos anteriores muestran una reducción en el valor del costo de oportunidad del dinero invertido en los inventarios de repuestos utilizados en equipos productivos. Para los años proyectados, el crecimiento anual, se determinará restando el valor del año evaluado con respecto al año anterior:

$$\text{Crecimiento año 2019} = \text{Q6,872,251} - \text{Q6,962,767} = -\text{Q90,516}$$

$$\text{Crecimiento año 2020} = \text{Q6,391,194} - \text{Q6,872,251} = -\text{Q481,057}$$

Lo anterior confirma la reducción del costo del inventario de repuestos, cada valor negativo representa el valor del costo de oportunidad que la empresa puede invertir confirmando la importancia de la implementación de la metodología.

6.3.5 Análisis Horizontal del inventario de repuestos proyectado para los años 2018, 2019 y 2020

Los resultados anteriores, pueden evaluarse mediante un análisis horizontal, para verificar el % de reducción del inventario de repuestos para los años proyectados 2019 y 2020, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 33: Análisis Horizontal inventario de repuestos

ACTIVOS	AÑO 2019 Horizontal	AÑO 2020 Horizontal
Inventarios de repuestos	-1.30%	-7.00%

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada

De lo anterior, se estima una reducción del inventario de repuestos del 1.30% en el año 2019 con respecto al 2018 y una reducción del 7.00% en el año 2020 con respecto al año 2019, esta mayor reducción en el último año proyectado, se debe a la proyección de la implementación de la metodología a una cantidad mayor de repuestos con respecto al 2019. No se puede asumir que se tendrá con el transcurso de los años una reducción anual constante, existe un costo de inventario óptimo, el cual, las empresas deberán mantener y administrar, este valor del inventario dependerá de las variables explicadas y analizadas en el presente trabajo.

6.3.6 Rotación del inventario proyectado para los años 2018, 2019 y 2020

A continuación, se confirma la siguiente variable dependiente: “aumentar la rotación del inventario de repuestos”, por medio del cálculo del indicador Rotación del inventario de repuestos que se proyectó para los años 2018, 2019 y 2020, este indicador muestra el número de veces que se renueva la existencia de los repuestos que conforman el inventario durante un año.

Se calculó la rotación del inventario de repuestos para los años 2018, 2019 y 2020.

Tabla 34: Indicador rotación del inventario de repuestos proyectado

INDICADOR	AÑO 2018	AÑO 2019	AÑO 2020
ROTACIÓN INVENTARIOS DE REPUESTOS	10.83	11.74	13.10

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

La información anterior confirma la variable dependiente: “aumentar la rotación del inventario” derivado de la implementación de la metodología basada en la confiabilidad para la administración del inventario de repuestos, para el año 2018 se tiene una rotación de 10.83, el año 2019 tiene una rotación de 11.74 y el año 2020 tiene una rotación de 13.10. Al implementar la metodología, la empresa empieza a tener una mayor rotación de los repuestos en un período de un año.

6.3.7 Días de inventario de repuestos proyectado para los años 2018, 2019 y 2020

Al calcular el indicador “días de inventario de repuestos” proyectado para los años 2018, 2019 y 2020, se podrán confirmar las siguientes variables dependientes: “mejora de ciclos de pedidos de los repuestos críticos y control de los tiempos de despacho por parte del fabricante del repuesto”, lo anterior, debido que el indicador “días de inventario de repuestos”, determina la cobertura del inventario de repuestos en días que dispone la empresa. Contar con un alto número de cobertura en días de inventario de repuestos, implica un alto volumen de repuestos, derivado de una mala administración de ciclos de pedidos cortos en los que se abastece un repuesto sin ser necesario o por no contar con un control de los tiempos de despacho por parte del fabricante, se pueden pedir repuestos en forma continua sin ser necesarios, recurriendo en costos no necesarios dentro del inventario de repuestos, en este caso, representa un alto costo oportunidad invertido en los repuestos. Se calcula los días de inventario de repuestos proyectado para los años 2018, 2019 y 2020.

Tabla 35: Días de inventario de repuestos proyectado

INDICADOR	AÑO 2018	AÑO 2019	AÑO 2020
DÍAS DE INVENTARIO DE REPUESTOS	33.71	31.08	27.86

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

Evaluando los días de inventario de repuestos en los años proyectados 2018, 2019 y 2020, los valores son 33.71, 31.08 y 27.86 respectivamente, confirmando la variable dependiente “mejora de ciclos de pedidos en repuestos críticos”, teniendo una sección dentro de la metodología basada en la confiabilidad en donde se determinan los repuestos críticos por importancia y costo, teniendo estos repuestos identificados y controlados, permite reducir el costo del inventario de repuestos.

La proyección en la reducción de los días de inventario de repuestos, confirma también la variable dependiente “control de los tiempos de despacho por parte del fabricante del repuesto”, evitando la compra acumulada de repuestos, generando un sobreabastecimiento innecesario, como se indicó, cada repuesto posee características propias, en las cuales, se considera el número de días de despacho, tipo de transporte, país de procedencia y si el proveedor maneja ese repuesto en stock o debe fabricarlo, con estas variables definidas, se puede tener un control de tiempos de despacho.

CONCLUSIONES

1. La implementación de la metodología en la industria manufacturera si mejora la administración del inventario de repuestos, por lo cual se confirma la hipótesis planteada.
2. Se evaluó la situación de administración de inventarios de repuestos en el sector objeto de estudio, incluyendo el análisis de la situación financiera, costos de operación, liquidez, costo de inventarios, rotación del inventario, clasificación de repuestos de baja rotación, alta rotación, críticos y no críticos, costos por importación de repuestos y tiempos de despacho por parte del fabricante de repuestos, demostrándose que la liquidez de la organización es afectada favorablemente en parte por el costo del inventario de repuestos.
3. La metodología basada en la confiabilidad para la administración del inventario de repuestos en el sector objeto de estudio, permite reducir el costo del inventario, aumentar la rotación del inventario, reducir los costos de operación, mejorar la liquidez, mejorar los ciclos de pedidos de los repuestos críticos y controlar los tiempos de despacho por parte del fabricante del repuesto. El costo proyectado del inventario de repuestos para el año 2020, desciende a Q.6,391,194, representando un 9.59% menor con respecto al valor real de Q.7,068,799 del año 2017.
4. El diseño de la propuesta de la metodología basada en la confiabilidad para la administración del inventario de repuestos, tomando en consideración las políticas de mantenimiento, metodología de compra, frecuencia de pedido, cantidad, costos de transporte, entre otros, muestra el menor costo total considerando todas las variables involucradas en la adquisición de los repuestos. Dependiendo de cada organización, los costos serán diferentes, pero la propuesta de metodología considera cada uno de ellos en función de la cantidad de piezas a comprar, determinando el menor costo con el menor riesgo.

5. Los resultados proyectados de la implementación de la propuesta de la metodología para la administración de inventarios de repuestos, basado en la confiabilidad, la liquidez de la organización mediante el indicador de la prueba ácida considerando solo el inventario de repuestos es de 3.75 en el año 2020, en el año 2017 el valor es de 3.23, la rotación anual del inventario repuestos es de 13.10 para el año 2020, y para el año 2017 la rotación anual era de 11.12. Lo anterior confirma que la implementación de la propuesta de la metodología, conlleva beneficios en la liquidez y rotación del inventario de la empresa.
6. Al utilizar el método Montecarlo, permite colocar valores aleatorios a todas las variables según la caracterización de la probabilidad estadística, siendo considerados los factores que intervienen en el costo de comprar y mantener un repuesto dentro del almacén. Por medio de las simulaciones de los diferentes escenarios, se determina el nivel de confiabilidad de obtener el valor del menor costo, dentro de un rango establecido.

RECOMENDACIONES

1. Implementar la utilización de la metodología basada en la confiabilidad para la administración del inventario de repuestos, dentro de las organizaciones que administran un volumen alto de repuestos procedentes de otros países y compras locales a través de representantes de las diferentes marcas de repuestos que puedan ser utilizados en los equipos.
2. Los resultados obtenidos al utilizar la metodología basada en la confiabilidad para la administración del inventario de repuestos, deben ser analizados por el personal de mantenimiento de la empresa que adopte el modelo, para determinar si los valores obtenidos son aplicables en la decisión de la compra, así como de la cantidad a comprar.
3. Se recomienda el seguimiento de los resultados de la utilización de la metodología en los siguientes dos años a su implementación, para comparar los datos proyectados con los valores reales y poder justificar la utilización de la metodología basada en la confiabilidad para la administración del inventario de repuestos.
4. Se recomienda la adquisición de un software basado en la metodología de confiabilidad para la administración de inventarios al contar con una alta variedad de repuestos y un alto costo en el inventario, el cual permitirá el procesamiento de datos y generación de la información en un menor tiempo, reduciendo el costo y uso de recursos para la administración del inventario de repuestos.

BIBLIOGRAFÍA

Consulta de libros:

1. Bunge, Mario. 2004. La Investigación Científica. Siglo Veintiuno Editores. 3er Edición.
2. Chase, R. 2005. Administración de la producción y operaciones. México, Editorial McGraw Hill. Pág. 606.
3. De Gortari, Efi. 1981 "El Método de las Ciencias. Nociones Preliminares". Editorial Grijalbo. México.
4. De la Torre, Saturnino. Creatividad Aplicada. 1995. Recursos para una formación creativa. España. Editorial Escuela Española.
5. Hernández Sampieri, R.; Fernández Collado, C.; y, Baptista Lucio, P. 2014. Metodología de la Investigación. México. Sexta Edición. McGraw-Hill Interamericana.
6. IICA/CATIE. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (1999). Redacción de Referenciar Bibliográficas: Normas Técnicas del IICA Y CATIE. Turrialba, Costa Rica. Biblioteca Conmemorativa Orton. 4ª. Edición.
7. Iglesias, Severo. 1981. Principios del método de la investigación científica. Editorial Tiempo y Obra
8. Kerlinger, F. N. 1988. Investigación del comportamiento, 2ª. ed. (pp. 17-29). McGraw-Hill. México.
9. Paz Velásquez, Miguel Ángel. (Julio 2007). DISEÑO DE UN CONTROL DE INVENTARIOS DE ARTÍCULOS DE ALTO IMPACTO Y MEJORAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA BODEGA PARA LA EMPRESA DE BEBIDAS GASEOSAS, EMSA. Ing. Industrial. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. 172 p.

10. Stevenson, William J. (2005). Administración de la producción y las operaciones México: Editorial Norma, S.A.
11. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Económicas. Centro de Documentación Vitalino Girón Corado. (2001). Normas para la Elaboración de Bibliografías en Trabajos de Investigación. Licda. Dina Jiménez de Chang. 2ª. Edición.
12. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Económicas. Escuela de Estudios de Postgrado. (2009). Normativo de Tesis para optar al grado de Maestro en Ciencias.
13. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Económicas. Escuela de Estudios de Postgrado. (2009). Guía metodológica para la elaboración del plan e informe de investigación de postgrado de Ciencias Económicas.
14. Vidales Giovannetti, Ma. Dolores. El mundo del envase. Ed. G. G. México. Azcapotzalco. Págs. 16-27
15. Zea, V. (2008). Incidencia en el uso de empaques ecológicos en el medio ambiente. Lic. Ing. Industrial. Guatemala. USAC. 118 p.

Consultas electrónicas:

16. Andía, Jorge. RCS Repuestos Centrados en la Confiabilidad. (en línea). Consultado el 25 de agosto del 2016. Disponible en: http://ellmann.net/archivos/articulos/11/RCS_Repuestos_Centrados_en_Confiabilidad.pdf
17. Balseiro, Lasty. (1991). (en línea), Consultado el 12 de agosto de 2016. Disponible en: <http://tesisdeinvestig.blogspot.com/2011/05/conceptos-de-metodo-cientifico.html>

18. Bolsa de Valores Nacional. 2007. Guatemala, Guatemala. PAGARES CENTRAL DE EMPAQUES I. (en línea). Consultado el 09 de septiembre 2016. Disponible en: <http://www.bvnsa.com.gt/paginas/prospectos/pcemsa1.pdf>
19. Breve historia del empaque. (en línea). Consultado el 22 de agosto 2016. Disponible en: <http://elmodo.mx/el-modo-del-modo/breve-historia-del-empaque/>
20. Cálculo de repuestos críticos. (en línea). Consultado el 25 de agosto. 2016. Disponible en: <http://www.logisticamx.enfasis.com/notas/3833-calculo-repuestos-criticos>
21. Conceptos de Método Científico. (2011). (en línea). Consultado el 20 de agosto. 2016. Disponible en: <http://tesisdeinvestig.blogspot.com/2011/05/conceptos-de-metodo-cientifico.html>
22. Conocimiento científico. IV.2. Método científico y sus etapas. (en línea). Consultado el 22 de agosto. 2016. Disponible en: <http://www.ingenieria.unam.mx/~guiaindustrial/solucion/info/3/3.htm>
23. Cho, José. 2008. ESTABLECIMIENTO Y USO DE INSTRUMENTOS PARA LA MEDICIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD, EN LA IMPRESIÓN OFFSET. Ingeniero Industrial. Guatemala, Guatemala. USAC. 149 P. Consultado el 9 de septiembre 2016. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1864_IN.pdf
24. Duarte Beltrán, E. (2010). Manufactura de envases plásticos para contener productos alimenticios. (en línea). Consultado el 20 de octubre. 2016. Disponible en: <http://www.utm.mx/~mtello/Extensos2010/extenso280110.pdf>

25. Duque, M.; Osorio, J.; Agudelo, D. (2010). Los inventarios en las empresas manufactureras, su tratamiento y su valoración. Una mirada desde la contabilidad de costos. (en línea). Contaduría Universidad de Antioquia, Colombia. 56, 61-79. Consultado el 15 de octubre de 2016. Disponible en: <https://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/cont/article/viewFile/14693/12846>
26. Ellmann. E. Repuestos Centrados en la Confiabilidad. (en línea). Consultado el 19 de agosto. 2016. Disponible en: <http://www.ellmann.net/rcs.php>
27. Ellmann. E. Determinación de los niveles de Inventario de Repuestos basado en la Fiabilidad. (en línea). Consultado el 19 de agosto. 2016. Disponible en: http://www.ellmann.net/RCS%20-Repuestos%20Centrados%20en%20Confiabilidad%20-Ing_Jorge%20Andia.pdf
28. HISTORIAS DE EMPAQUES. (en línea). Consultado el 22 de agosto. 2016. Disponible en: <https://historiasdeempaques.wordpress.com/>
29. Instituto Nacional de Tecnología Industrial. INTI (2012) Cuadernillo para unidades de producción. (en línea). Consultado el 28 de Agosto. 2016. Disponible en: <http://www.inti.gob.ar/atp/pdf/cuadernilloEnvasesyEmbalajes.pdf>
30. Lobo, Mario. 2006. OPTIMIZACIÓN DEL NIVEL DE INVENTARIO DE RODAMIENTOS DE UNA MÁQUINA DE PAPEL. Especialista en Confiabilidad de Sistemas Industriales. Miranda, Venezuela. Universidad Simón Bolívar. 68 P. Consultado el 15 de agosto 2016. Disponible en: <http://159.90.80.55/tesis/000135666.pdf>
31. Masías, Iván. 2014. Ing. Civil Industrial. Modelos de optimización para la compra de repuestos críticos basado en la confiabilidad de los equipos de PETROQUIM, S. A. Capítulo 4: Modelo de Inversiones. (en línea). Consultado el 28 de agosto 2016. Disponible en: http://cybertesis.ubiobio.cl/tesis/2004/masias_i/pdf/masias_i-TH.4.pdf

32. Mathon, Y. (2012). Envases y embalajes. (en línea). Argentina. Consultado el 28 de agosto. 2016. Disponible en: <http://www.inti.gob.ar/atp/pdf/cuadernilloEnvasesyEmbalajes.pdf>
33. Medina, Robinson (2013). Propuesta de modelo matemático para la implementación de la metodología de confiabilidad optimización costo riesgo de inventarios. (en línea) Consultado el 12 de febrero 2017. Disponible en: <http://iasca.net/wordpress/wp-content/uploads/2014/12/ARTICULO-PROPUESTA-MODELO-MATEMATICO-OCRI.pdf>
34. Monzón, Alejandra. 2012. PROCESO LOGÍSTICO DE ALMACENAJE, DISTRIBUCIÓN Y MANEJO DE INVENTARIOS EN LA EMPRESA CAJAS Y EMPAQUES DE GUATEMALA, S.A. Ingeniero Industrial. Guatemala, Guatemala. USAC. 212 P. Consultado el 9 de septiembre 2016. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2556_IN.pdf
35. Rodríguez. A. Equipos y productos robustos y fiables: el análisis de mantenimiento centrado en la fiabilidad. (en línea). Consultado el 20 de octubre. 2016. Disponible en: http://www.revista-anales.es/web/n_6/pdf/seccion_3.pdf
36. Ruiz, R. (1999). Historia de la Ciencia y el Método Científico. (en línea). México. Consultado el 20 de agosto. 2016. Disponible en: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2007b/283/66.htm>
37. Ruiz, R. (2007). El Método Científico y sus Etapas. (en línea). México. Consultado el 20 de agosto. 2016. Disponible en: <http://www.index-f.com/lascasas/documentos/lc0256.pdf>
38. Sueiro, G. Integración de Técnicas para la Confiabilidad. (en línea). Consultado el 19 de agosto. 2016. Disponible en: http://reliabilityweb.com/assets/uploads/art/PDF/integracion_de_tecnicas_para_confiabilidad_guillermo_sueiro_.pdf

39. Sotuyo, S. (2015). REPUESTOS CENTRADOS EN CONFIABILIDAD RCS. (en línea). Argentina. Consultado el 20 de octubre. 2016. Disponible en: <http://documents.mx/documents/repuestos-centrados-en-confiabilidad.html>
40. Tecnología de fabricación de envases: en busca de mayor productividad y flexibilidad. (en línea). Consultado el 20 de octubre. 2016. Disponible en: <http://www.plastico.com/temas/Tecnologia-de-fabricacion-de-envases,-en-busca-de-mayorproductividad-y-flexibilidad+3020071?pagina=1>
41. Una Introducción a RCS (repuestos centrados en Confiabilidad). (en línea). Consultado el 20 de agosto. 2016. Disponible en: <http://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/una-introduccion-a-rcs-repuestos-centrados-en-confiabilidad>
42. Woodhouse, J. (2005). Cálculo de repuestos críticos. (en línea). Consultado el 02 de octubre. 2016. Disponible en: <http://www.logisticamx.enfasis.com/notas/3833-calculo-repuestos-criticos>
43. Zylberberg, A. (2006). Introducción al análisis racional de repuestos. (en línea). Consultado el 20 de octubre. 2016. Disponible en: [http://www.mantenimientoplanificado.com/ARTICULOS%20RECAMBIOS/Ariel%20Zylberberg/Repuestos%20Basados%20en%20Riesgo%20-%20Introduccion%20\(2\).pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/ARTICULOS%20RECAMBIOS/Ariel%20Zylberberg/Repuestos%20Basados%20en%20Riesgo%20-%20Introduccion%20(2).pdf)

ANEXOS

Anexo 1: Entrevista realizada a los departamentos de mantenimiento, bodega e importaciones

ENTREVISTA DEPARTAMENTOS DE MANTENIMIENTO, BODEGA E IMPORTACIONES

Fecha: ___ / ___ / ___

Nombre: _____ Puesto: _____ Departamento: _____

1. ¿Los equipos y repuestos están clasificados según su importancia dentro de la empresa?

2. El departamento de mantenimiento, ¿Conoce el costo por hora de un equipo detenido?

3. El departamento de mantenimiento, ¿Conoce sus costos y horas que incurren al intervenir un equipo?

4. ¿Cuál es la política del departamento de mantenimiento para colocar un repuesto?

5. ¿Cuentan con registros de la utilización de los repuestos?

6. ¿Qué personas del departamento de mantenimiento, conocen el valor del repuesto a instalar?

7. ¿Qué departamento es el encargado de abastecer la bodega de repuestos?

8. ¿El departamento de mantenimiento, ¿Conoce los costos incurridos por la importación de los repuestos?

9. ¿Cuál es la política de la empresa con relación a la compra de los repuestos?

10. ¿Cuentan con controles e indicadores relacionados al inventario de repuestos?

11. ¿Cuál es el criterio para definir el medio de transporte: aéreo, terrestre o marítimo para importar un repuesto?

12. ¿Cuántos días tarda el repuesto en ingresar según el medio de transporte: aéreo, terrestre o marítimo?

13. ¿Los repuestos cuentan con una codificación única dentro del inventario?

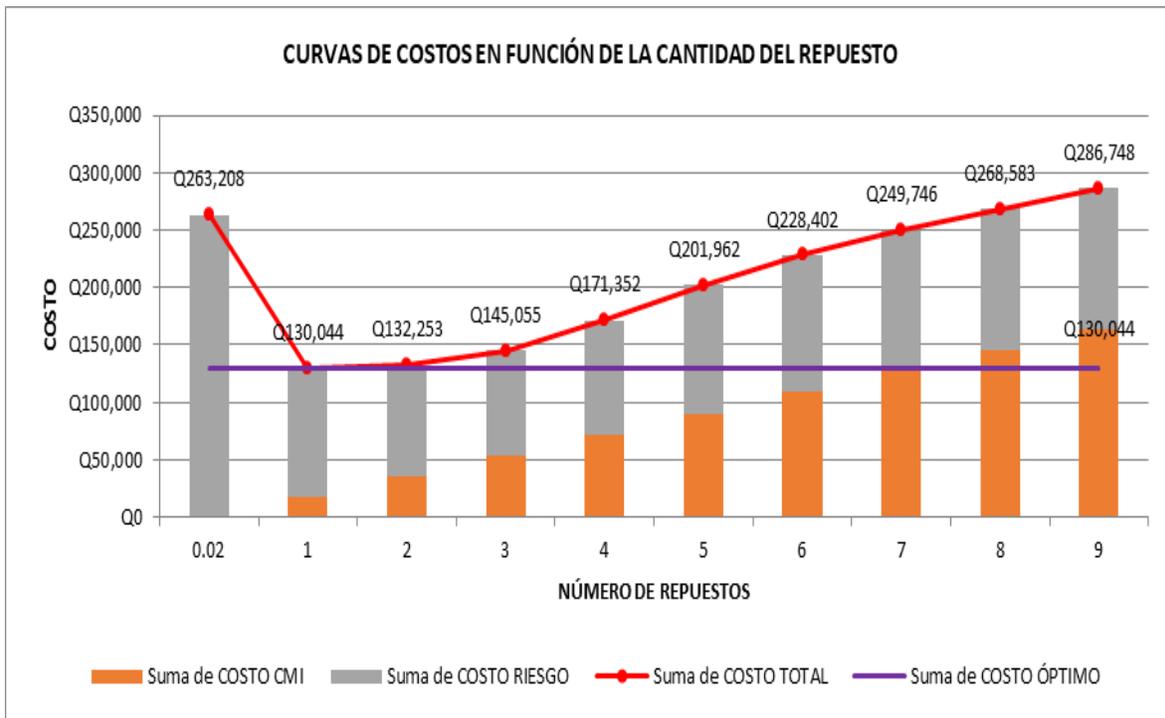
14. ¿Qué significado tiene dicha codificación del repuesto?

Anexo 2: Integración de la cuenta Propiedad Planta y Equipo, Balance General, años 2015, 2016 y 2017

Descripción	2015	2016	2017
Inmuebles	Q 48,422,727	Q 48,422,727	Q 48,422,727
Adquisiciones	Q -	Q -	Q -
Total	Q 48,422,727	Q 48,422,727	Q 48,422,727
Maquinaria	Q 18,734,823	Q 18,734,823	Q 18,734,823
Adquisiciones	Q -	Q -	Q 1,245,723
Total	Q 18,734,823	Q 18,734,823	Q 19,980,546
Vehículos	Q 2,035,723	Q 2,035,723	Q 2,035,723
Adquisiciones	Q -	Q -	Q 827,315
Total	Q 2,035,723	Q 2,035,723	Q 2,863,038
Mobiliario	Q 1,835,425	Q 1,835,425	Q 2,460,848
Adquisiciones	Q -	Q 625,423	Q -
Total	Q 1,835,425	Q 2,460,848	Q 2,460,848
Equipo de Cómputo	Q 1,875,418	Q 1,875,418	Q 1,875,418
Adquisiciones	Q -	Q -	Q 487,315
Total	Q 1,875,418	Q 1,875,418	Q 2,362,733
Herramientas	Q 975,452	Q 975,452	Q 975,452
Adquisiciones	Q -	Q -	Q 255,815
Total	Q 975,452	Q 975,452	Q 1,231,267
Total Activos	Q 73,879,568	Q 74,504,991	Q 77,321,159
Depreciaciones acumuladas	(16,690,572)	(23,900,649)	(31,751,725)
Activo neto	Q 57,188,996	Q 50,604,342	Q 45,569,434

Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

Anexo 3: Curvas de costos en función de la cantidad del repuesto



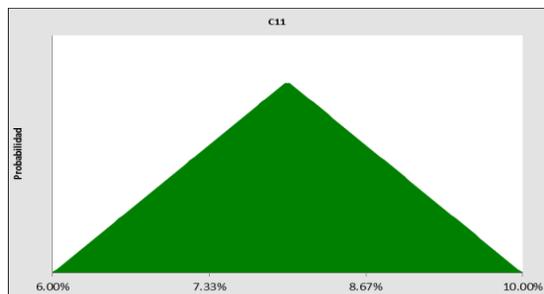
Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

Anexo 4: Caracterización variables metodología para administrar inventarios de repuestos basados en la confiabilidad

Suposición: CA

Triangular distribución con parámetros:

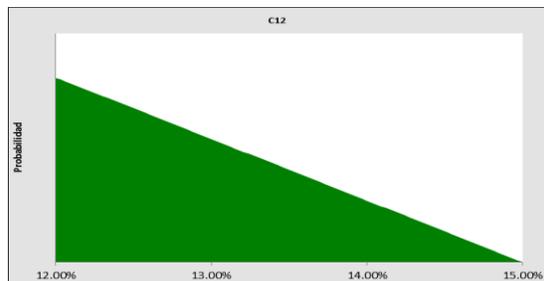
Mínimo	6.00%
Más probable	8.00%
Máximo	10.00%



Suposición: CI

Triangular distribución con parámetros:

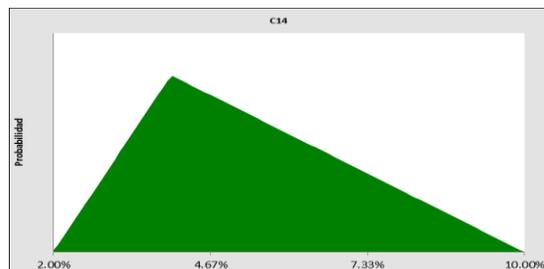
Mínimo	12.00%
Más probable	12.00%
Máximo	15.00%



Suposición: CO

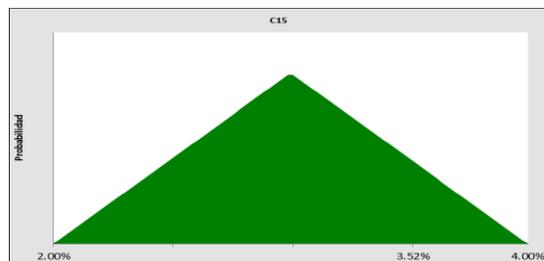
Triangular distribución con parámetros:

Mínimo	2.00%
Más probable	4.00%
Máximo	10.00%

**Suposición: CM**

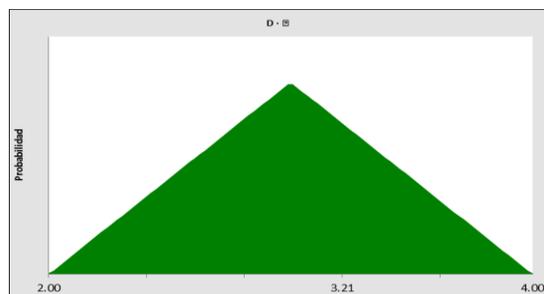
Triangular distribución con parámetros:

Mínimo	2.00%
Más probable	3.00%
Máximo	4.00%

**Suposición: D**

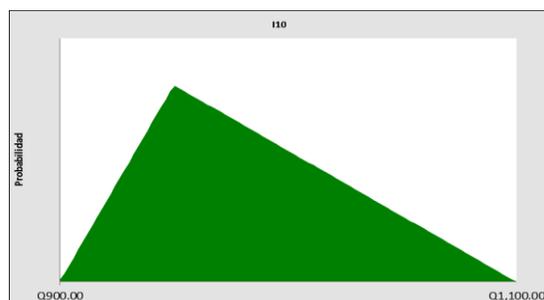
Triangular distribución con parámetros:

Mínimo	2.00
Más probable	3.00
Máximo	4.00

**Suposición: CEO**

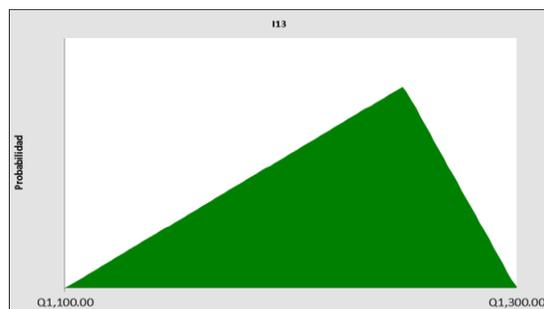
Triangular distribución con parámetros:

Mínimo	Q900.00
Más probable	Q950.00
Máximo	Q1,100.00

**Suposición: IES**

Triangular distribución con parámetros:

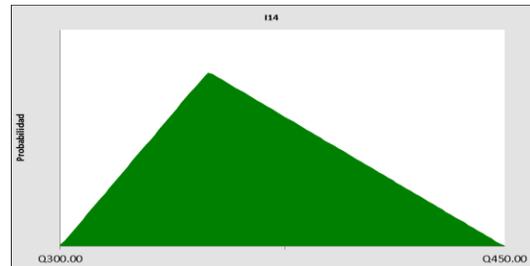
Mínimo	Q1,100.00
Más probable	Q1,250.00
Máximo	Q1,300.00



Suposición: IEA

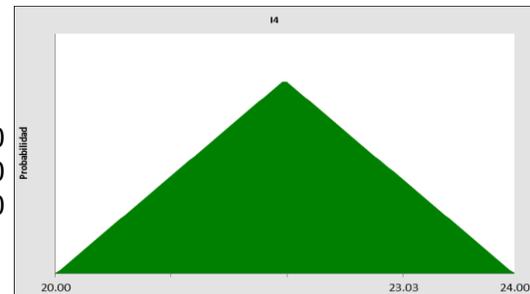
Triangular distribución con parámetros:

Mínimo	Q300.00
Más probable	Q350.00
Máximo	Q450.00

**Suposición: HORAS PRODUCCIÓN**

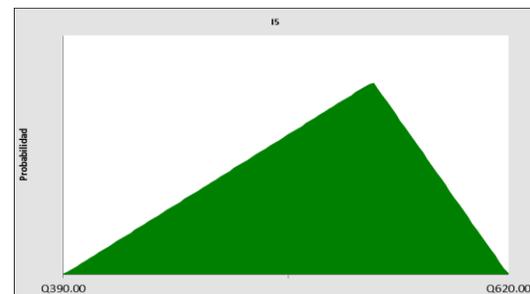
Triangular distribución con parámetros:

Mínimo	20.00
Más probable	22.00
Máximo	24.00

**Suposición: COSTO X HORA DE PRODUCCIÓN**

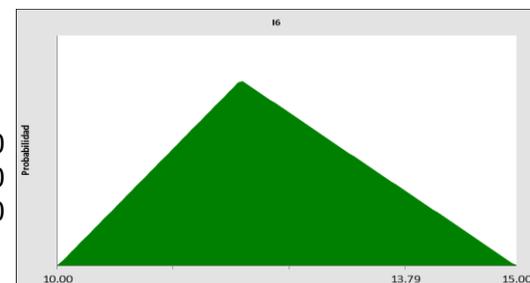
Triangular distribución con parámetros:

Mínimo	Q390.00
Más probable	Q550.00
Máximo	Q620.00

**Suposición: HORAS POR REPARACIÓN DE MANTENIMIENTO**

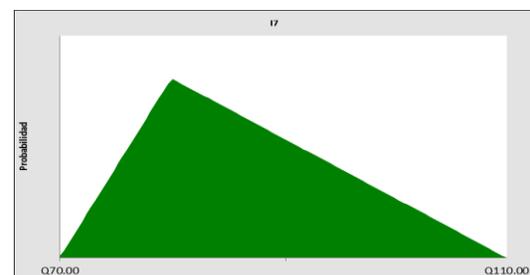
Triangular distribución con parámetros:

Mínimo	10.00
Más probable	12.00
Máximo	15.00

**Suposición: COSTO MANTENIMIENTO POR HORA**

Triangular distribución con parámetros:

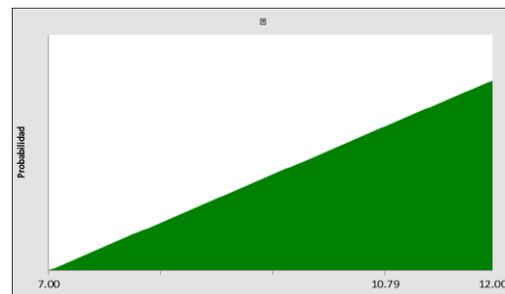
Mínimo	Q70.00
Más probable	Q80.00
Máximo	Q110.00



Suposición: DÍAS INGRESO DE REPUESTOS

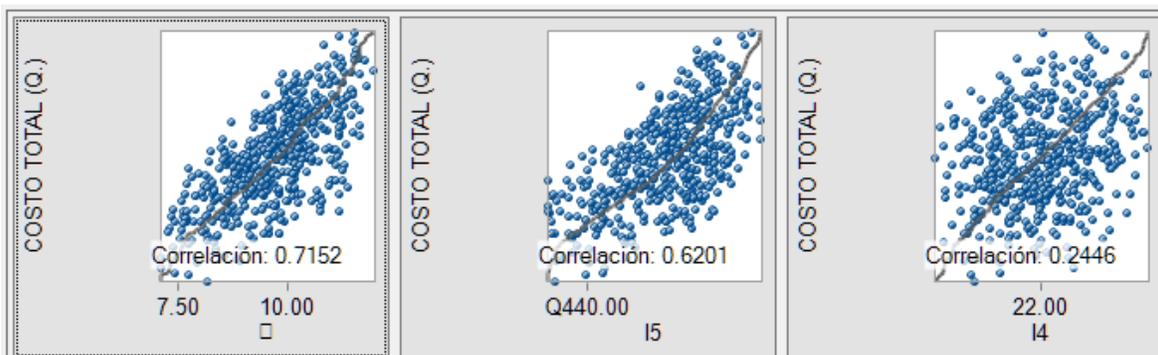
Triangular distribución con parámetros:

Mínimo	7.00
Más probable	12.00
Máximo	12.00



Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

Anexo 5: Dispersiones de cada variable ingresadas en la simulación del repuesto analizado: Días Ingreso del repuesto, Costo por hora Producción y Horas producción día



Fuente: Elaboración propia, con base en información de la investigación realizada.

ÍNDICE DE CUADROS

Tabla 1: Balance general, cifras en quetzales.....	63
Tabla 2: Estado de resultados, cifras en quetzales	64
Tabla 3: Análisis vertical costos de producción y ventas.....	64
Tabla 4: Indicadores de liquidez.....	65
Tabla 5: Costo del Inventario de repuestos.....	66
Tabla 6: Análisis horizontal inventario de repuestos	67
Tabla 7: Análisis horizontal inventario de producción.....	67
Tabla 8: Indicador rotación del inventario de repuestos	68
Tabla 9: Días de inventario de repuestos	69
Tabla 10: Clasificación del inventario de repuestos, por la cantidad de años entre su último movimiento y el año en curso.....	70
Tabla 11: Clasificación según su valor del inventario de rápido y lento movimiento	71
Tabla 12: Clasificación del inventario en porcentajes con base en criterios de costos e importancia para el funcionamiento de la maquinaria y equipo	72
Tabla 13: Clasificación del Inventario en valor monetario con base en criterios de costos e importancia para el funcionamiento de la maquinaria y equipo	73

Tabla 14: Clasificación del Inventario por cantidad de repuestos con base en criterios de costos e importancia para el funcionamiento de la maquinaria y equipo	73
Tabla 15: Clasificación del Inventario en porcentaje por cantidad de repuestos con base en criterios de costos e importancia para el funcionamiento de la maquinaria y equipo.....	74
Tabla 16: Clasificación del Inventario del valor promedio por repuesto con base en criterios de costos e importancia para el funcionamiento de la maquinaria y equipo	74
Tabla 17: Tiempo promedio de importación de repuestos por lugar de procedencia	75
Tabla 18: Veces de uso del repuesto utilizado en un período de tiempo	79
Tabla 19: Costos de mantener el inventario del repuesto analizado	86
Tabla 20: Costos de riesgo por no contar con el repuesto analizado	89
Tabla 21: Cálculo del costo total según la cantidad a comprar del repuesto analizado.....	90
Tabla 22: Cálculo del Stock de Seguridad del repuesto analizado.....	93
Tabla 23: Cálculo del tiempo entre pedidos del repuesto analizado	94
Tabla 24: Parámetros del costo del repuesto utilizados en la simulación del repuesto analizado	95
Tabla 25: Costo total por adquirir la cantidad óptima determinada con la metodología basada en la confiabilidad del repuesto analizado	96

Tabla 26: Distribución de probabilidad con base en deciles de la simulación de obtener un valor cercano al indicado por la metodología con base en la confiabilidad del repuesto analizado	98
Tabla 27: Resumen de la simulación considerando todas las cantidades posibles de compra del repuesto analizado	100
Tabla 28: Indicadores financieros analizados en la administración del inventario de repuestos años 2016 y 2017	103
Tabla 29: Balance general proyectado, cifras en quetzales	106
Tabla 30: Estado de Resultados proyectado, cifras en quetzales	107
Tabla 31: indicadores de liquidez proyectado	108
Tabla 32: Costo del inventario de repuestos	109
Tabla 33: Análisis Horizontal inventario de repuestos	109
Tabla 34: Indicador rotación del inventario de repuestos proyectado	110
Tabla 35: Días de inventario de repuestos proyectado	111

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Costos del inventario	18
Gráfica 2: Distribuciones del Inventario ABC.....	19
Gráfica 3: Modelo conceptual de la aplicación metodológica del OCRI	32
Gráfica 4: Diagrama metodológico para la ejecución de un OCRI	34
Gráfica 5: Matriz de filtrado de equipos para el análisis de OCRI	37
Gráfica 6: Modelo matemático del lote económico	46
Gráfica 7: Punto óptimo.....	49
Gráfica 8: Identificación temprana de un defecto	80
Gráfica 9: Distribución de probabilidad que describe el requerimiento del repuesto analizado.....	81
Gráfica 10: Parámetros ingresados a Excel de la distribución de probabilidad que describe el requerimiento del repuesto analizado	88
Gráfica 11: Curvas de costos en función de la Cantidad a comprar del repuesto analizado.....	91
Gráfica 12: Distribución de la probabilidad del costo ingresado en la simulación del repuesto analizado	96
Gráfica 13: Distribución de probabilidad resultado de la simulación de comprar un cilindro neumático cercano al indicado por la metodología con base en la confiabilidad del repuesto analizado	97

Gráfica 14: Clasificación de las variables por su sensibilidad dentro de la simulación del repuesto analizado	99
Gráfica 15: Distribución de probabilidad considerando todas las cantidades posibles de compra del repuesto analizado	100
Gráfica 16: Caracterización probabilística por la utilización del cilindro neumático	101