



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL SISTEMA DE GESTIÓN DE INVENTARIOS DE
BAJA ROTACIÓN Y PARTES CRÍTICAS PARA REPUESTOS DE TRACTORES JOHN
DEERE 5725, EN UN INGENIO AZUCARERO, POR MEDIO DE MODELOS
PROBABILÍSTICOS**

Mario Roberto Santacruz Cabrera

Asesorado por la M.A. Inga. Isabel López Tohom

Guatemala, septiembre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL SISTEMA DE GESTIÓN DE INVENTARIOS DE
BAJA ROTACIÓN Y PARTES CRÍTICAS PARA REPUESTOS DE TRACTORES JOHN
DEERE 5725, EN UN INGENIO AZUCARERO, POR MEDIO DE MODELOS
PROBABILÍSTICOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARIO ROBERTO SANTACRUZ CABRERA
ASESORADO POR LA M.A. INGA. ISABEL LÓPEZ TOHOM

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

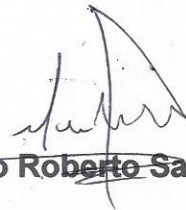
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Alvarado De León
EXAMINADORA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Julio Oswaldo Rojas Argueta
SECRETARIO	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez (a.i.)

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL SISTEMA DE GESTIÓN DE INVENTARIOS DE BAJA ROTACIÓN Y PARTES CRÍTICAS PARA REPUESTOS DE TRACTORES JOHN DEERE 5725, EN UN INGENIO AZUCARERO, POR MEDIO DE MODELOS PROBABILÍSTICOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 28 de abril de 2019.



Mario Roberto Santacruz Cabrera

Ref. AGS-MIMPP-008-2019

Guatemala, 11 de junio de 2019.

Director:
Cesar Ernesto Urquizú Rodas
Escuela de **Ingeniería Industrial**
Facultad de Ingeniería
Su despacho.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Mario Roberto Santacruz Cabrera** carné número **200318966**, quien optó la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la **Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Inga. Isabel López Tohom
Col. 5943

Maestra. Inga. Isabel López Tohom
Asesor(a)

Maestra. Inga. Sandra Ninett Ramírez F.
Coordinadora de Área de Gestión y Servicios

Maestro Ing. Edgar Darío Álvarez Coti
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



No. de Asesoramiento registrado en EEP 3

Cc: archivo/L.Z.L.A.

RESOLUCIÓN DE JUNTA DIRECTIVA: Proceso de Graduación aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011.



REF.DIR.EMI.120.019

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación en la modalidad Estudios de Postgrado titulado **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL SISTEMA DE GESTIÓN DE INVENTARIOS DE BAJA ROTACIÓN Y PARTES CRÍTICAS PARA REPUESTOS DE TRACTORES JOHN DEERE 5725, EN UN INGENIO AZUCARERO, POR MEDIO DE MODELOS PROBABILÍSTICOS**, presentado por el estudiante universitario **Mario Roberto Santacruz Cabrera**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Cesar Ernesto Urquizu Rodas
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



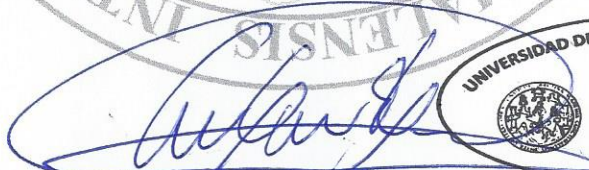
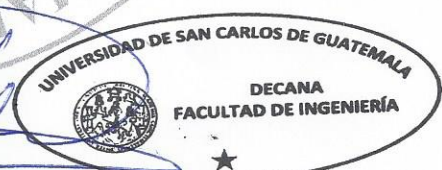
Guatemala, septiembre de 2019.

/mgp



La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL SISTEMA DE GESTIÓN DE INVENTARIOS DE BAJA ROTACIÓN Y PARTES CRÍTICAS PARA REPUESTOS DE TRACTORES JOHN DEERE 5725, EN UN INGENIO AZUCARERO, POR MEDIO DE MODELOS PROBABILÍSTICOS**, presentado por el estudiante universitario: **Mario Roberto Santacruz Cabrera**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, Septiembre de 2019

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por el don de la vida y guiarme en el camino correcto para lograr el cumplimiento de mis metas.
Mis padres	Sandra Cabrera de Santacruz y Marco Tulio Santacruz, por brindarme todo su apoyo, amor, comprensión y darme la fuerza para culminar mis estudios de ingeniería.
Mis hermanas	Diana y Rita Santacruz, por todo su apoyo y cariño.
Mi novia	Lorena Padilla, por todo su amor, apoyo, comprensión y paciencia.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por haberme abierto las puertas y formarme profesionalmente.

Facultad de Ingeniería

Por todo el conocimiento y experiencias brindadas.

Mi asesora

Ingeniera Isabel López Tohom, por todo su apoyo en la realización del presente trabajo de graduación.

Mi familia

Por apoyarme siempre en alcanzar cada una de mis metas y darme fuerza para cumplirlas.

**Mis amigas y amigos
en general**

Por todo el apoyo, por su amistad y por todas las experiencias vividas dentro y fuera de la facultad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3.1. Descripción del problema	9
3.2. Formulación del problema	10
3.3. Pregunta central	11
3.4. Preguntas secundarias	11
3.5. Delimitación del problema	11
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	15
5.1. General.....	15
5.2. Específicos	15
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	17

7.	MARCO TEÓRICO	21
7.1.	Ingenio azucarero	21
7.1.1.	Azúcar de caña.....	21
7.2.	Maquinaria agrícola.....	22
7.2.1.	Tipos de maquinaria	23
7.2.2.	Tractor	24
7.2.2.1.	Partes de un tractor.....	25
7.2.2.2.	Uso en la industria.....	26
7.3.	Inventarios.....	29
7.3.1.	Propósito de los inventarios.....	30
7.3.2.	Administración de inventarios.....	31
7.3.3.	Finalidad de la administración de inventarios	32
7.3.4.	Tipos de inventario	34
7.3.4.1.	Tipos de inventario según su forma	34
7.3.4.1.1.	Materia prima	34
7.3.4.1.2.	Productos en proceso ...	35
7.3.4.1.3.	Producto terminado.....	35
7.3.4.1.4.	Repuestos	36
7.3.4.2.	Tipos de inventario según su función ...	37
7.3.4.2.1.	Inventario de ciclo	37
7.3.4.2.2.	Inventario en tránsito.....	37
7.3.4.2.3.	Inventario de seguridad	38
7.3.4.2.4.	Inventario de previsión.....	38
7.3.5.	Costos de inventarios	39
7.3.5.1.	Costo de manejo de inventario.....	39
7.3.5.2.	Costo de mantenimiento de almacén ...	39
7.3.5.3.	Costo por faltante	41

	7.3.5.4.	Costo por sobrante	41
	7.3.5.5.	Costo por salvamento	42
	7.3.6.	Clasificación de inventarios.....	43
	7.3.6.1.	Análisis ABC	43
7.4.		Análisis de criticidad	46
	7.4.1.	Definiciones de la metodología del análisis de criticidad.....	47
	7.4.2.	Metodología de Análisis de Criticidad	48
	7.4.3.	Pasos para realizar un análisis de criticidad	49
	7.4.3.1.	Definir niveles de análisis	49
	7.4.3.2.	Definir criticidad	50
	7.4.3.3.	Cálculo de nivel de criticidad	54
	7.4.3.4.	Análisis y validación de resultados	55
	7.4.3.5.	Definir el nivel de análisis	55
	7.4.3.6.	Determinar la criticidad	55
	7.4.3.7.	Sistema de seguimiento de control.....	56
7.5.		Estadística.....	56
	7.5.1.	Tipos de estadística	58
	7.5.1.1.	Estadística descriptiva	58
	7.5.1.2.	Estadística inferencial.....	58
	7.5.2.	Definiciones	59
	7.5.2.1.	Población.....	59
	7.5.2.2.	Muestra.....	60
	7.5.2.3.	Muestra aleatoria	60
	7.5.2.4.	Parámetro	60
	7.5.2.5.	Estadístico	61
	7.5.2.6.	Distribución muestral	61
	7.5.3.	Probabilidad	61
	7.5.3.1.	Definiciones de probabilidad.....	61

7.5.3.2.	Variables aleatorias.....	62
7.5.3.3.	Distribución discreta de probabilidades.....	63
7.5.3.4.	Distribuciones discretas: distribución Poisson.....	64
7.5.3.5.	Distribución continua de probabilidades.....	65
7.5.3.6.	Distribuciones continuas: distribución Weibull.....	66
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	67
9.	METODOLOGÍA.....	71
9.1.	Enfoque de investigación.....	71
9.2.	Diseño de investigación.....	71
9.3.	Tipo de investigación.....	71
9.4.	Definición de variables.....	72
9.5.	Resultados esperados.....	74
9.6.	Población y muestra.....	75
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	77
11.	CRONOGRAMA.....	79
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	81
13.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de solución	19
2.	Partes de un tractor.....	26
3.	Preparación del terreno con apero situado en enganche frontal.....	27
4.	Trabajo estacionario utilizando la toma de fuerza	28
5.	Trabajo estacionario utilizando equipo hidráulico.....	28
6.	Trabajo de transporte	28
7.	Trabajo de arrastre.....	29
8.	Trabajo de empuje	29
9.	Diagrama de Pareto	44
10.	Matriz de criticidad	49
11.	Niveles de análisis.....	50
12.	Criterios y rangos para estimación de consecuencia de fallas.....	52
13.	Matriz de criticidad-PEP	54
14.	Cronograma de actividades	79

TABLAS

I.	Clasificación ABC.....	45
II.	Criterios de estimación de frecuencia	51
III.	Categorías de impactos	53
IV.	Definición de variables	73
V.	Metodología y herramientas.....	75
VI.	Recursos a utilizar.....	82

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
%	Porcentaje
Q	Quetzales

GLOSARIO

Almacén	Es un lugar o espacio físico para el almacenaje de bienes dentro de la cadena de suministro.
Cadena de suministro	Es un conjunto de procesos involucrados de manera directa o indirecta en la acción de satisfacer las necesidades de suministro.
Confiability	Es una propiedad psicométrica que hace referencia a la ausencia de errores de medida.
Costo	Es el valor monetario de los consumos de factores que supone el ejercicio de una actividad económica destinada a la producción de un bien, servicio o actividad.
Criticidad	En el ámbito del mantenimiento industrial se define como el nivel de importancia que tiene algún material, repuesto o máquina sobre otro material, repuesto o máquina.
DI	Daños en las Instalaciones
Estadística	Ciencia que utiliza conjuntos de datos numéricos para obtener, a partir de ellos, inferencias basadas en el cálculo de probabilidades.

Falla	Defecto en el funcionamiento de una pieza mecánica.
Gasto	Es un egreso o salida de dinero que una persona o empresa debe pagar para acreditar su derecho sobre un artículo o a recibir un servicio.
Inventario	Es un conjunto de bienes y valores que pertenecen a una persona, empresa o institución.
IP	Impactos en la Producción
Mantenimiento	Son todas las acciones que tienen como objetivo preservar un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida.
MM	Mil Millones
Probabilidad	Cálculo matemático de las posibilidades que existen de que una cosa se cumpla o suceda al azar.
Reparación	Arreglo de una cosa estropeada, rota o en mal estado.
TPEF	Tiempo Promedio Entre Fallas
TPPR	Tiempo Promedio Para Reparar

RESUMEN

El presente diseño de investigación trata de la sistematización de la gestión de inventarios de baja rotación y repuestos críticos para tractores John Deere 5725, en un ingenio azucarero por medio de modelos probabilísticos. El estudio incluye la base teórica de los principios o métodos que se utilizarán para el desarrollo de la investigación, se presenta información general del tractor en estudio y de los principales puntos a tratar, como lo son los inventarios, el análisis de criticidad y modelos probabilísticos.

En el desarrollo de la investigación se recopilarán datos o información del tractor 5725, con la cual se requiere hacer una lista de todas las partes del tractor para proceder a reunir datos de fallas y los mantenimientos que se realizaron a dichos tractores.

Para la recolección de datos se cuenta con el apoyo de los mecánicos del taller, manuales del fabricante y listas de chequeo de mantenimiento. También se requiere la información de la cantidad de salidas del almacén de cada repuesto.

Los datos recolectados deben clasificarse, primeramente, por medio de un análisis ABC, el cual proporciona información de los materiales que representan menor rotación en el inventario y mayor costo. Dicha clasificación se realiza por medio de un análisis 80/20.

Como siguiente paso se requiere clasificar los materiales por medio de un análisis de criticidad, el cual indica qué repuestos tienen mayor criticidad, se toman criterios establecidos especialmente para el presente estudio.

Concluida la clasificación se filtran los repuestos que cumplían con las restricciones establecidas, las cuales son baja rotación, alto costo y alta criticidad, con dichos repuestos se procede con el análisis probabilístico para determinar los niveles óptimos de inventario de cada repuesto, para facilitar el análisis de datos se utilizaron hojas de cálculo de Microsoft Excel.

Al final del estudio y de la sistematización de la gestión de los inventarios de baja rotación, alto costo y alta criticidad, se espera reducir la probabilidad de que los tractores se queden sin operar debido a la falta de repuestos, lo que implica al ahorro en distintos rubros y al aumento en la satisfacción del cliente.

1. INTRODUCCIÓN

En la industria, la gestión de inventarios es una parte fundamental para el control, planeación y optimización de los recursos necesarios para ejecutar los procesos a los que está destinada la empresa. El presente diseño de investigación se enfoca en la sistematización de dicha gestión para garantizar la satisfacción de la demanda de repuestos del taller de maquinaria agrícola del ingenio en estudio.

El problema que se tiene en la gestión del inventario del almacén del taller es la ausencia de un sistema preciso que indique la cantidad exacta de repuestos que se necesitará, lo que ocasiona escasez o un sobre *stock* en el inventario. La escasez es ocasionada principalmente por la indisponibilidad por parte de los proveedores y el sobre *stock* se debe al almacenaje de cantidades demasiado altas de repuestos que no tendrán rotación.

La mala gestión produce un aumento en los costos, principalmente en el manejo de almacenes y en el mantenimiento de la maquinaria. Analizando la rotación del inventario del año 2018 se observa que el 45 % de los repuestos cuenta con existencias, el 25 % no cuenta con existencias y el 30 % restante cuenta con existencias que sobrepasan la demanda anual.

La importancia de la sistematización reside en tener el control de los niveles de *stock* de repuestos críticos y de baja rotación, con el fin de mejorar la cadena de suministros de repuestos. El caso en estudio se llevará a cabo en el almacén de repuestos de un ingenio azucarero, se analizarán los repuestos utilizados en la reparación de tractores John Deere 5725.

Los resultados obtenidos determinarán la cantidad que se debe tener de cada repuesto y garantizará la disponibilidad cada vez que se requieran, dichos resultados aportarán una reducción en los costos que conlleva tener escasez o excedentes en el inventario.

Dentro de los beneficios que aportará la sistematización de la gestión de los inventarios se encuentra la reducción del inventario, reducción de costos de mantenimiento, mejora en el flujo de efectivo de la empresa, aumento en la satisfacción del cliente, liberación y optimización de espacio en el almacén, entre otros.

El esquema de la solución consta de cuatro fases, iniciando con la recopilación de información teórica de los principios o métodos que se utilizarán para el desarrollo de la investigación. En la segunda etapa se realizará la recopilación de datos como la lista de partes, de fallas, mantenimientos realizados y recopilación de datos históricos en el sistema SAP. En la tercera fase se realizará un análisis ABC de los datos recopilados y un análisis de criticidad, y en la última fase se desarrollarán los modelos probabilísticos que darán los niveles óptimos de cada repuesto que deberá tener el inventario.

El primer capítulo es el marco teórico, donde se hará una descripción del tipo de tractor analizado y su uso en la industria, se detallarán las partes que lo conforman y se proporcionarán diagramas de sus componentes. Se da una breve explicación de lo que es un ingenio y también se incluirán los principios y métodos que se utilizarán para el desarrollo de la presente investigación.

El segundo capítulo consiste en la presentación de resultados, contiene el desarrollo de la investigación, en esta se utilizarán los métodos indicados en el marco teórico para el desarrollo práctico de la investigación. Los análisis que se

incluirán son los siguientes: recolección de datos, análisis ABC, análisis de criticidad y por último el análisis con los modelos probabilísticos Poisson y Weibull.

En el tercer capítulo se realizará la discusión de los resultados obtenidos en el desarrollo del segundo capítulo y se compararán con los datos que actualmente se tienen del inventario, y también se realizará un análisis de costos para determinar el ahorro que implica la implementación del sistema propuesto.

2. ANTECEDENTES

La gestión de inventarios de repuestos es necesaria para mantener el correcto funcionamiento de la maquinaria en cualquier tipo de empresa, en el ingenio donde se realizará el estudio se cuenta con una gran cantidad de repuestos, por lo que es indispensable contar con un sistema que ayude a gestionarlos.

Como lo indica Herrera (2012), la gestión de inventarios se ha convertido en un parámetro a optimizar y se considera una oportunidad para dar a la empresa una ventaja competitiva por menor activo inmovilizado, lo que genera un ahorro o disminución de costos que podrán ser utilizados en otras direcciones del negocio, que pueden dar mayor rentabilidad y aumentar los beneficios de la empresa.

Según lo indicado anteriormente es importante optimizar los inventarios, para ello es necesario realizar una clasificación del inventario, determinando qué materiales son de alta o baja rotación y el valor que representan, esta clasificación se realizará por medio del análisis ABC.

Según Fucci (1999), el análisis ABC se describe como “una herramienta que nos permite visualizar esta relación y determinar en forma simple, cuáles artículos son de mayor valor, optimizando así la administración de los recursos y permitiendo tomas de decisiones eficientes” (p. 1).

Otro de los análisis que se realizarán es el de criticidad de cada repuesto, según indica Romero (2013):

El análisis de criticidad es un método que permite cuantificar las consecuencias o impacto de las fallas de los componentes de un sistema, y la frecuencia con que se presentan para establecer tareas de mantenimiento en aquellas áreas que están generando mayor repercusión en la funcionalidad, confiabilidad, mantenibilidad, riesgos y costos totales, con el fin de mitigarlas o eliminarlas por completo. (p.1).

Lizarazo (2017), en su proyecto de grado *Modelo de suministro de medicamentos para la caja de previsión de la Universidad de Cartagena*, aplica modelos teóricos de inventarios y pronósticos de la demanda, en dicho proyecto se realiza una clasificación ABC, en donde los insumos con clasificación A son analizados por medio de pronósticos o modelos probabilísticos, para poder determinar una demanda futura. La clasificación ABC aportará una base metodológica que se empleará para la realización de la clasificación de repuestos del presente estudio.

Herrera (2012), en su proyecto de fin de carrera *Aplicación de modelos estadísticos al pronóstico de la demanda de repuestos estratégicos en el sector de producción de energía eléctrica*, describe que es necesario después de clasificar los repuestos estratégicos (baja rotación y alta criticidad), el control del número de unidades almacenadas, lo que resulta importante para la economía de la empresa. Propone que para tomar una decisión sobre el número de repuestos que es recomendable disponer es necesario realizar un balance entre el riesgo de no disponer o de tener un repuesto y no saber si se utilizará, por ello propone el uso de tres modelos probabilísticos, entre ellos la distribución Poisson. El proyecto descrito aportará la metodología que se utilizará para calcular la cantidad de repuestos necesarios para satisfacer la demanda por medio de modelos probabilísticos.

Reyes (2017), en su tesis de maestría *Implementación de un sistema de administración y manejo de inventarios en la bodega de materia prima de una empresa productora de agroquímicos*, propone una clasificación ABC del inventario para luego determinar la cantidad requerida de materiales por medio de un modelo de conteo de inventarios cíclico. El sistema mencionado proporcionará los lineamientos necesarios para la correcta realización de la clasificación ABC de los inventarios.

Ramírez (2014), en su tesis de maestría *Análisis de datos de falla*, propone a la distribución Weibull como modelo principal para el estudio de fallas repetitivas, y concluye que se pueden modelar todos los periodos de la vida operativa de un componente. La tesis mencionada aportará información importante para la utilización de los modelos probabilísticos.

Según lo mencionado, en el presente estudio se realizará una propuesta para un sistema de gestión de inventarios, en dicho sistema se hará una clasificación ABC y un análisis de criticidad para determinar qué repuestos son los de menor consumo y qué repuestos tienen mayor criticidad, después de dicha clasificación se analizará la probabilidad de falla de cada repuesto, para determinar las cantidades que se requieren en inventario.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema de los inventarios de repuestos en el ingenio en estudio es la insatisfacción de la demanda de los repuestos de baja rotación que en su mayoría no es cubierta o presenta sobre *stock*. Según el análisis a grandes rasgos realizado al inventario, el 25 % de la demanda no es cubierta y existe un 30 % con sobre *stock*.

3.1. Descripción del problema

El ingenio en donde se realizará el trabajo de investigación es una empresa con 37 años de existir en el mercado, dedicados a desarrollar y comercializar productos alimenticios, agrícolas y energéticos. Opera a nivel nacional y distribuye sus productos a nivel nacional e internacional.

En la industria azucarera el abastecimiento de materias primas y repuestos desempeña un papel importante en el cumplimiento de la producción y mantenimiento de toda maquinaria utilizada para dicha producción.

En el ingenio existen almacenes de producto terminado, materia prima y de repuestos, el presente estudio analizará específicamente el inventario de repuestos del taller de maquinaria agrícola. Dicho almacén debe mantener cierta variedad de repuestos, muchos de ellos de alta rotación y bajo costo, pero también se almacenan repuestos de baja rotación y críticos, que tienen un costo elevado.

Según las observaciones y análisis realizados en el inventario, se puede afirmar que existen deficiencias en el sistema empleado para calcular cantidad de repuestos necesarios para la reparación de la maquinaria. Es recurrente que los mecánicos o encargados del mantenimiento soliciten cantidades de repuestos que en realidad tienen poca rotación y pasen demasiado tiempo almacenados.

El problema descrito afecta directamente al inventario, ocasionando el almacenamiento de repuestos que no serán utilizados o, en el caso contrario, no teniendo la existencia necesaria para cumplir con la demanda. No cumplir con la demanda repercute en la productividad del taller, aumentando los tiempos de reparación y recurriendo a malas prácticas que disminuyen la calidad y confiabilidad de la reparación.

Es necesario contar con repuestos que son críticos pero que tienen baja rotación en el inventario, debido a que muchos de los repuestos tienen un tiempo de entrega alto y no contar con ellos significaría detener la maquinaria.

El cálculo de los niveles de inventario actualmente se realiza por medio de un análisis de los consumos históricos, pero no se utiliza ningún método específico para la gestión de repuestos de baja rotación.

3.2. Formulación del problema

Para crear un sistema de gestión de inventarios para la bodega de repuestos del taller del ingenio en estudio es necesario formular las siguientes preguntas de investigación:

3.3. Pregunta central

¿Qué sistema de gestión de inventarios optimizará el suministro de repuestos para tractores John Deere 5725, analizando repuestos críticos y de baja rotación mediante modelos probabilísticos?

3.4. Preguntas secundarias

- ¿Cuáles son las deficiencias en la gestión del inventario de repuestos?
- ¿Cuáles son los repuestos críticos y de baja rotación que se utilizarán en el estudio?
- ¿Cuáles son los pasos a seguir para desarrollar un sistema de gestión de inventarios mediante modelos probabilísticos?

3.5. Delimitación del problema

- Industria azucarera dedicada a la producción de productos alimenticios, agrícolas y energéticos.
- La investigación se realizará en el almacén del taller de maquinaria agrícola, donde se analizarán datos de repuestos utilizados para la reparación de tractores marca John Deere del modelo 5725, utilizados para distintas aplicaciones en el campo. Se tomarán datos a partir del año 2015 a la fecha.

4. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se incluye dentro de la línea de investigación del área administrativa para la Maestría de Ingeniería de Mantenimiento. Debido a que se plantea un sistema de gestión de inventarios de repuestos para los tractores John Deere 5725, el sistema utiliza distintos análisis como el análisis ABC y de criticidad para segmentar el inventario y analizar los puntos de reorden mediante análisis probabilísticos.

El diseño de un sistema de gestión de inventarios es importante para el mantenimiento y para el aumento de la disponibilidad de los tractores. Dicha gestión proporcionará una mejora en los costos de almacenamiento, detallando la cantidad de repuestos requeridos en un periodo de tiempo determinado, para un control preciso en el manejo de los niveles de inventario.

En el taller del ingenio existe la necesidad de llevar un control sobre el inventario de repuestos, debido a que en la situación actual los usuarios solicitan materiales sin tener la certeza de que se utilizará, por eso es indispensable el análisis y estudio de su comportamiento.

La motivación para la realización del presente sistema de gestión es aportar una mejora en los tiempos de reparación y aumentar la disponibilidad de los tractores, lo cual deriva en un aumento en la satisfacción de los clientes o usuarios de los equipos.

Aparte de los beneficios mencionados en el párrafo anterior, al llevar un mejor control de los niveles de inventario se logrará reducir costos de ordenar,

mantener, costos por demanda insatisfecha y se podrá contar con el repuesto requerido justo cuando se necesite y la cantidad que se requiera.

El estudio garantizará la confiabilidad de la operación y mantenimiento de la maquinaria, al igual que se mejorará la gestión en los inventarios, beneficiando a la bodega de repuestos, al taller de mantenimiento, a los usuarios que utilizan los tractores y a todo el personal involucrado en la cadena de suministro, por lo cual el mayor beneficiado será la empresa en donde se realizará el estudio.

El presente estudio es viable gracias al apoyo del ingenio, específicamente el personal del taller y bodegas proporcionarán los datos y cualquier tipo de ayuda necesaria para su realización.

El análisis que se realizará puede ser adaptado y utilizado en cualquier empresa que desee mejorar la gestión de inventarios de repuestos y aumentar la confiabilidad del mantenimiento de todo tipo de maquinaria.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Diseñar un sistema de gestión de inventarios de baja rotación y partes críticas para repuestos de tractores John Deere 5725, por medio de modelos probabilísticos.

5.2. Específicos

- Identificar las deficiencias en la gestión del inventario de repuestos para tractores John Deere 5725.
- Determinar los repuestos críticos y de baja rotación que se utilizarán en el estudio.
- Desarrollar los pasos a seguir para la implementación de un sistema de gestión de inventarios mediante modelos probabilísticos.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Dentro de las necesidades principales que el presente estudio pretende cubrir está la reducción de los tiempos de reparación de los tractores, dicha reducción se logrará estableciendo el sistema para la gestión del inventario de repuestos, al mismo tiempo se tendrá un aumento en la satisfacción del cliente o usuario que utiliza la máquina.

El sistema propuesto se adapta a la mayoría de los inventarios, pudiendo ser utilizado en empresas que tengan necesidad de mantener un inventario de materiales críticos y mejorar el control de los materiales de baja rotación.

La administración del inventario del ingenio en estudio cuenta con una clasificación ABC de los repuestos, haciendo énfasis en los repuestos clasificados como tipo C, sin tomar en cuenta los repuestos de baja rotación y de mayor criticidad.

Los datos se analizarán por medio de modelos probabilísticos dando como resultado datos exactos y confiables que serán utilizados para tomar mejores decisiones.

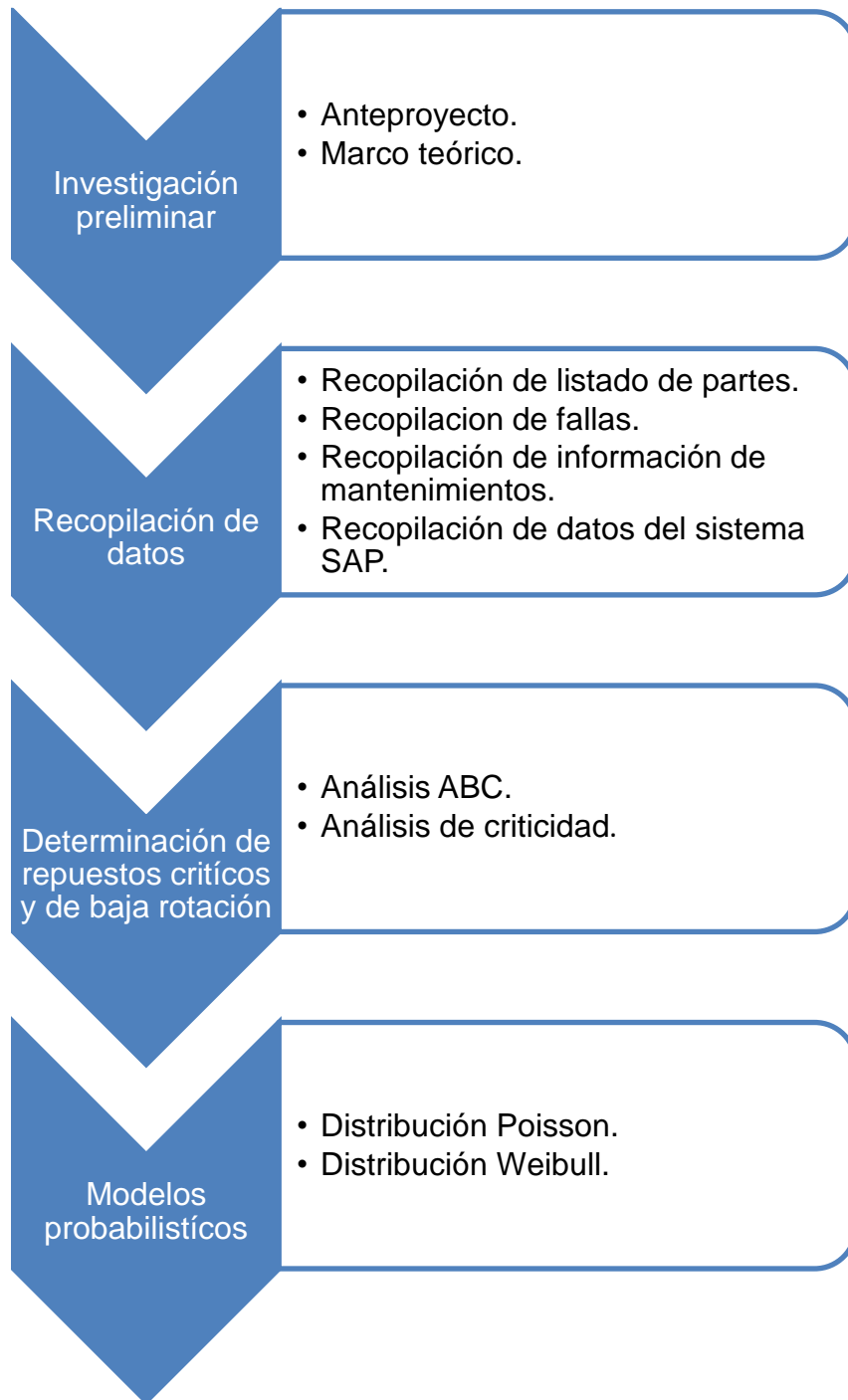
En la figura 1 se puede observar las distintas fases en las que se desarrollará el estudio. La primera es el desarrollo del anteproyecto y el marco teórico, el cual es importante para tratar conceptos propios que darán un mejor entendimiento de lo que se pretende realizar. La segunda fase es la recopilación de datos, dentro de esta se incluye la recopilación del listado de partes de un tractor, recopilación de fallas mecánicas, recopilación de datos

históricos de mantenimiento y consumo de repuestos. Los datos recopilados son importantes para el desarrollo de la investigación. En la tercera fase se realizará un análisis ABC y el análisis de criticidad de los datos recabados en la fase anterior. En la cuarta se procederá a realizar el análisis probabilístico de falla para cada repuesto, por último, se desarrollarán las conclusiones, recomendaciones y la redacción del informe final.

La aplicación de dichos análisis para la clasificación y sistematización del inventario de repuestos es una idea propuesta exclusivamente para el presente estudio, actualmente no es utilizada en ningún inventario del ingenio y existen pocas empresas que utilizan análisis parecidos para el manejo de sus inventarios, por lo que la hace de alguna manera una idea original para la gestión del inventario de repuestos.

La validez técnica del sistema propuesto se puede observar en la capacidad que tiene para analizar y cuantificar información devolviendo resultados que aportarán una mejora en los tiempos de reparación de los tractores en estudio y optimizarán la administración del inventario de repuestos.

Figura 1. **Esquema de solución**



Fuente: elaboración propia.

7. MARCO TEÓRICO

La siguiente información es la base teórica de los principios o métodos que se utilizarán para el desarrollo de la investigación propuesta, se presenta información general del tractor en estudio y de los principales puntos a tratar como los inventarios, el análisis de criticidad y los modelos probabilísticos.

7.1. Ingenio azucarero

Un ingenio azucarero o simplemente ingenio es un establecimiento con instalaciones para el procesamiento de la caña de azúcar con el objetivo de obtener azúcar, alcohol y otros productos. La caña de azúcar no es un cultivo nativo de América y fue introducido por los españoles, portugueses y otros europeos, se adaptó rápidamente a las tierras tropicales de América, hasta el punto de que los mayores productores de azúcar se encuentran en este continente.

7.1.1. Azúcar de caña

El azúcar de caña es el azúcar producido a partir de la caña de azúcar, la fabricación del azúcar utiliza procesos fisicoquímicos naturales para quitar las impurezas. A continuación se listan dichos procesos:

- Transporte de caña de azúcar
- Molienda
- Clarificación
- Evaporación

- Cristalización
- Centrifugación
- Refinado
- Secado

En el proceso de transporte de caña se utiliza una gran variedad de maquinaria para el transporte de la caña hasta el ingenio, dentro de esta maquinaria están los tractores, camiones, implementos, entre otros. La maquinaria del ingenio no solo es utilizada para el transporte de caña, también es utilizada para la siembra y cosecha, para este tipo de actividad se utilizan los tractores e implementos.

En el ingenio en donde se realizará el presente estudio se cuenta con un taller específicamente para la reparación de la maquinaria de transporte, dentro del taller se encuentra el almacén de materiales y repuestos, donde se recolectarán los datos necesarios para el análisis.

7.2. Maquinaria agrícola

En el ingenio en estudio la maquinaria agrícola es utilizada para realizar trabajos pesados ya sea de arrastre, carga o transporte, también puede ser utilizada en trabajos estacionarios.

Zamudio (2009), en su documento académico, denomina a la maquinaria agrícola como:

Toda máquina cuyos órganos de trabajo cumplen determinadas operaciones de producción agrícola y que se acciona o traslada mediante un medio que le transmite energía, puede ser un motor propio o elementos externos como un motor u otra fuente de energía. (p.12).

7.2.1. Tipos de maquinaria

Molina (2008), en su proyecto de graduación, indica que existen varios tipos de maquinaria agrícola, los cuales se describen a continuación:

- Tractores
 - Ruedas de simple tracción
 - Ruedas de doble tracción
 - Cadenas
 - Otros

- Motocultores y motomáquinas
 - Motocultores
 - Motoazadas
 - Motosegadoras

- Máquinas automotrices
 - Maquinaria de recolección
 - Equipos de carga y transporte
 - Tractocarros
 - Otros

- Maquinas arrastradas y suspendidas
 - Trabajo del suelo
 - Siembre y plantación

- Equipos de tratamientos
- Aporte de fertilizantes y agua
- Recolección
- Otras

En el ingenio en estudio se utilizan distintos tipos de maquinaria agrícola y se manejan repuestos para cada una de ellas, el presente diseño de trabajo se centrará únicamente en los repuestos para una flotilla de tractores 5725.

7.2.2. Tractor

El tractor en estudio es utilizado comúnmente para trabajos de arrastre, empuje, transporte y carga, también es utilizado de forma estacionaria, esto quiere decir que es utilizado como toma de fuerza para otras máquinas como por ejemplo una bomba de agua o equipos hidráulicos.

En el presente estudio se analizarán los repuestos para un tractor John Deere 5725 de doble tracción. Se cuenta con una flotilla de aproximadamente 30 tractores.

A continuación se presentan distintas definiciones para tractor según varios autores.

Zamudio (2009) comenta que el tractor se ha convertido en el símbolo más importante de la mecanización de la agricultura, lo define como una planta automotriz polivalente, cuya capacidad de conversión y aplicación de la energía lo convierte en un vehículo que puede ser usado para tirar, propulsar y suministrar potencia.

Arnal & Laguna (2000) definen al tractor como “un vehículo dotado de motor que le sirve para poder desplazarse por sí mismo y remolcar o accionar las distintas máquinas que se utilizan en la agricultura actual” (p.13).

El tractor moderno es resultado de distintos avances tecnológicos que han surgido con el tiempo, cada uno de estos avances ha hecho al tractor una herramienta indispensable para el trabajo con tierras y cultivos.

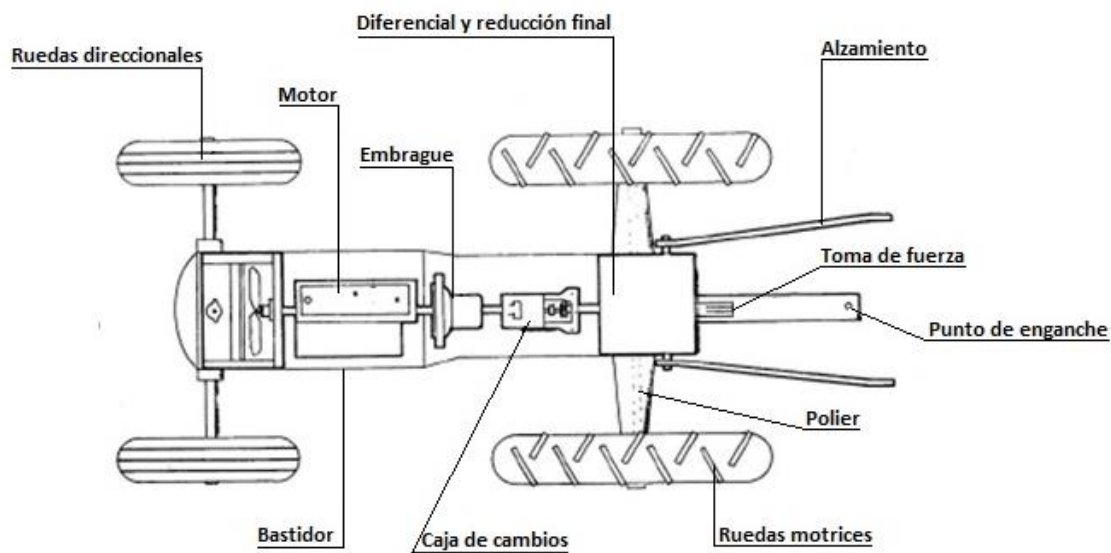
7.2.2.1. Partes de un tractor

Para comprender mejor la cantidad de repuestos utilizados por un tractor es necesario conocer las partes fundamentales del mismo, cada una de estas partes consta de diversos componentes, los cuales pueden ser reemplazados en caso de falla. A continuación se presentan las partes fundamentales de un tractor:

- Bastidor o chasis
- Motor
- Transmisión:
 - Embrague
 - Caja de cambios
 - Diferencial
 - Reducción final
 - Palieres
 - Ruedas
 - Toma de fuerza

- Polea
- Alzamiento hidráulico
- Enganche
- Dirección
- Frenos

Figura 2. Partes de un tractor



Fuente: Arnal, P. & Laguna, A. (2000). *Tractores y motores agrícolas*.

7.2.2.2. Uso en la industria

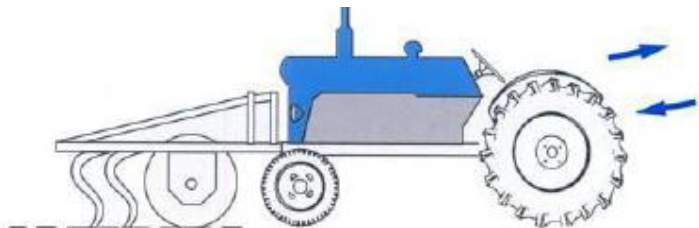
En el ingenio en estudio los tractores son utilizados para realizar diversas tareas, Arnal (2000) explica en su libro que el tractor es una máquina de usos múltiples, utilizada en diversas aplicaciones en la agricultura, y los clasifica de la siguiente forma:

- Estacionarios
 - Estacionarios utilizados como toma de fuerza
 - Estacionarios utilizados como equipo hidráulico

- De transporte
- De arrastre
- De empuje
- De carga
- Combinados
 - Tractores combinados utilizados para el transporte y a la vez toma de fuerza.
 - Tractores combinados utilizados para el arrastre y como toma de fuerza.

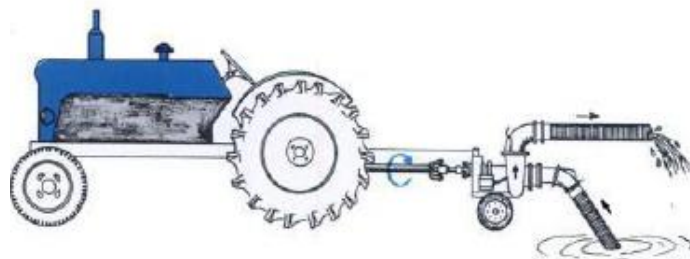
A continuación se describen ejemplos ilustrados de dicha clasificación:

Figura 3. **Preparación del terreno con apero situado en enganche frontal**



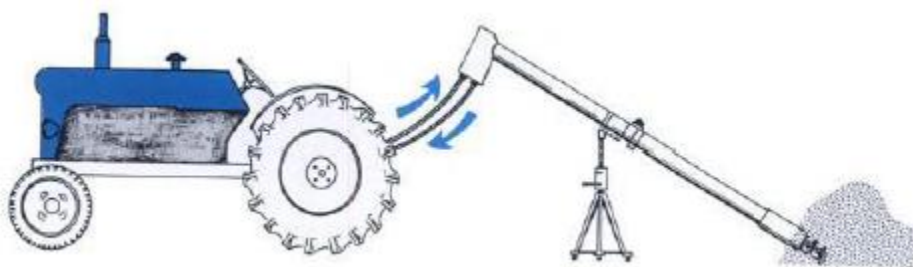
Fuente: Arnal, P. & Laguna, A. (2000). *Tractores y motores agrícolas*.

Figura 4. **Trabajo estacionario utilizando la toma de fuerza**



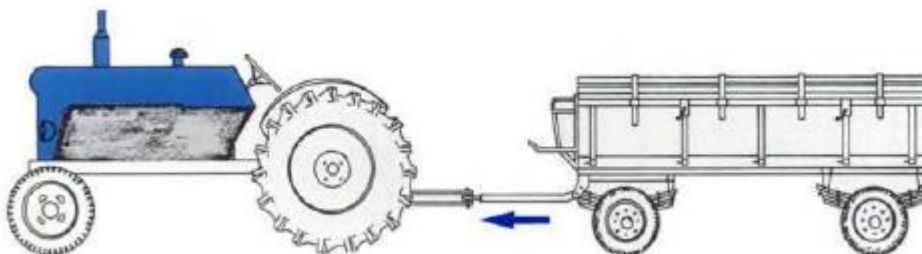
Fuente: Arnal, P. & Laguna, A. (2000). *Tractores y motores agrícolas*.

Figura 5. **Trabajo estacionario utilizando equipo hidráulico**



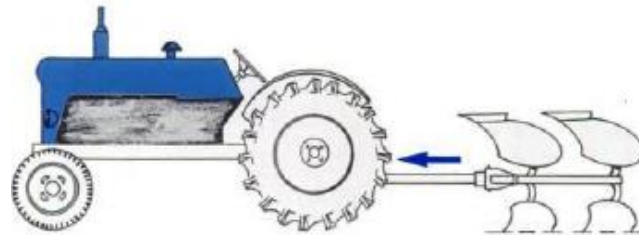
Fuente: Arnal, P. & Laguna, A. (2000). *Tractores y motores agrícolas*.

Figura 6. **Trabajo de transporte**



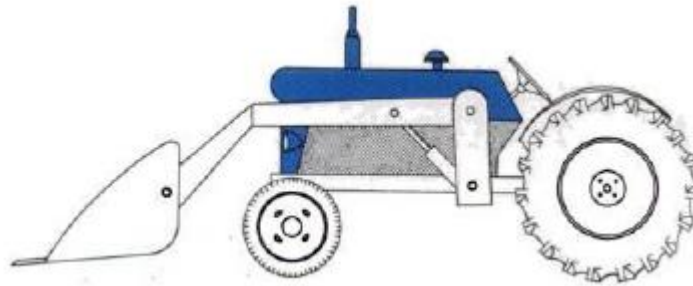
Fuente: Arnal, P. & Laguna, A. (2000). *Tractores y motores agrícolas*.

Figura 7. **Trabajo de arrastre**



Fuente: Arnal, P. & Laguna, A. (2000). *Tractores y motores agrícolas*.

Figura 8. **Trabajo de empuje**



Fuente: Arnal, P. & Laguna, A. (2000). *Tractores y motores agrícolas*.

7.3. **Inventarios**

El inventario de repuestos del ingenio en estudio es importante para que los tractores 5725 cuenten con los repuestos necesarios para poder realizar reparaciones en un periodo de tiempo óptimo, lo que se busca es mantener los tractores el mayor tiempo posible en funcionamiento.

Para saber qué es un inventario es necesario conocer su definición desde diferentes puntos de vista. Las siguientes definiciones servirán de apoyo para comprender a fondo qué es un inventario.

Según la FIAEP (2014) los inventarios son:

Acumulaciones de materias primas, provisiones, componentes, trabajo en proceso y productos terminados que aparecen en numerosos puntos a lo largo del canal de producción y de logística de una empresa: almacenes, patios, pisos de las tiendas, equipo de transporte y en los estantes de las tiendas de menudeo, entre otros. (p.10).

Pineda (2014) indica que un inventario “es el conjunto de mercancías o artículos que tiene la empresa para comercializar con ellos, permitiendo la compra y venta o la fabricación primero antes de venderlos, en un periodo económico determinado” (p.15).

Bonilla (2017) define que “los inventarios representan un conjunto de bienes tangibles y en existencia, los cuales se encuentran disponibles para satisfacer una demanda futura” (p.6).

El inventario que se analizará es un conjunto de repuestos o partes almacenadas, su fin es el de proporcionar al taller los repuestos necesarios para cumplir con el mantenimiento o las reparaciones de los tractores.

7.3.1. Propósito de los inventarios

Existen diversas razones para gestionar y mantener un inventario, entre las principales se encuentran las siguientes:

- La capacidad de predicción es necesaria para tener un control de cuántos repuestos ingresarán o egresarán en un momento dado, con el fin de poder planificar la capacidad y programar la producción.
- La variación en la demanda es algo que se debe tomar en cuenta, contar con un *stock* de seguridad proporciona protección en caso de un aumento en la demanda, no siempre se sabe cuánto aumentará la demanda, pero aun así debe satisfacerse.
- Inestabilidad en el suministro: al igual que en la razón anterior, se debe proteger el inventario ante la falta de cumplimiento por parte de los proveedores o cuando los repuestos son escasos y difíciles de conseguir en un medio local.
- Los descuentos por volumen de compra no se pueden realizar con todos los repuestos, en el caso del presente estudio rara vez se conseguirá algún descuento por mayor volumen de compra. Se debe analizar con qué frecuencia se utilizan dichos repuestos para evaluar si es conveniente.
- Se puede realizar una reducción de costos de pedido comprando una mayor cantidad de repuestos con menor frecuencia, para ello se debe analizar el consumo y definir para cuánto tiempo se debe abastecer dicho repuesto.

7.3.2. Administración de inventarios

A continuación se presentan diferentes definiciones para la administración de inventarios:

Como lo indica Pineda (2014) en su proyecto de graduación:

La administración de inventarios es la eficiencia en el manejo adecuado del registro, rotación y evaluación del inventario de acuerdo a su clasificación y a qué tipo de inventario tenga la empresa, a través de todo esto se determinan los resultados de una manera razonable, pudiendo establecer la situación financiera de la empresa y las medidas necesarias para mejorar o mantener dicha situación. (p.17).

Reyes, P. (2009) explica que la administración o gestión de inventarios es:

Todo lo relativo al control y manejo de las existencias de determinados bienes, en la cual se aplican métodos y estrategias que pueden hacer rentable y productiva la tenencia de estos bienes y a la vez sirve para evaluar los procedimientos de entradas y salidas de dichos productos. (p.6).

La administración de inventarios en resumen es la eficiencia y control en el manejo de los ingresos y egresos de los repuestos en el almacén, llevando registros y aplicando métodos y estrategias para la mejora y beneficio de la empresa.

7.3.3. Finalidad de la administración de inventarios

La finalidad de la administración de inventarios es la optimización de los recursos y la reducción de costos, lo cual implica tener únicamente los repuestos necesarios para cumplir con la demanda.

Pineda (2014) sostiene que “la administración de inventarios implica la determinación de la cantidad de inventario que deberá mantenerse, la fecha en que deberán colocarse los pedidos y las cantidades de unidades a ordenar” (p.17). Para conocer las implicaciones de administrar un inventario se debe tomar en cuenta lo descrito a continuación:

- Reducir el aumento del inventario: tener un nivel de inventario en cero implica tener proveedores eficientes, que cuenten con la existencia necesaria para satisfacer las demandas que la empresa necesita. Esto es difícil a nivel nacional, debido a que muchos de los repuestos requeridos para la reparación de los tractores no se consiguen localmente.

En el momento que un proveedor no cumpliera con la entrega se le asignará la compra a otro proveedor, hacer esto a nivel local es difícil, debido a que los repuestos de los tractores John Deere son distribuidos por empresas autorizadas, haciendo difícil encontrar nuevos proveedores que distribuyan dichos repuestos.

Las empresas procuran minimizar sus inventarios porque su mantenimiento es costoso.

- Afrontar la demanda: si el fin de la gestión de inventarios fuera satisfacer la demanda al instante, el inventario tendría cantidades excesivas de repuestos y se tendría mayor satisfacción del cliente, sin embargo, muchos de los repuestos estarían sin movimiento paralizando un capital que se podría invertir de otra forma.

Se requiere determinar el nivel de inventario apropiado para no incurrir en faltantes y no tener demasiados repuestos que no se requieran.

Indica Herrera (2012) que “para lograr un efectivo programa de gestión de inventarios, primero se formula un modelo matemático que describa de forma adecuada el comportamiento del sistema de inventario, y de aquí se derivará una política óptima de inventarios respecto a este modelo” (p.16).

7.3.4. Tipos de inventario

Actualmente en las empresas se manejan distintos tipos inventarios, estos se clasifican según su forma y según su función, en los siguientes incisos se detallan y definen dichos inventarios.

7.3.4.1. Tipos de inventario según su forma

Según Marín (2014), entre los tipos de inventario clasificados según su forma se encuentran los siguientes.

7.3.4.1.1. Materia prima

Según Marín (2014) la materia prima:

Se presenta en empresas que se dedican a la manufactura o transformación de materias primas. En el inventario se incluyen materiales o insumos que requieren de un proceso de producción para ser convertidos en un producto final. Los niveles de inventario de materia prima dependen del nivel de producción que la empresa maneje, de la gestión de compras y del cumplimiento de entrega de materiales. (p.31).

Castillo (2005) indica que “constituyen los insumos y materiales básicos que ingresan al proceso” (p.2).

Según la Fundación Iberoamericana de Altos Estudios Profesionales (2014):

Son aquellos en los cuales se contabilizan todos aquellos materiales que no han sido modificados por el proceso productivo de las empresas. Ejemplo: en una tapicería su inventario de materia prima o insumos está conformado por: madera, barniz, clavos, tela, etc,” (p.11).

7.3.4.1.2. Productos en proceso

Marín (2014) expone que los inventarios de productos en proceso, como lo indica su nombre, “son inventarios que pasaron por algún proceso de producción y están almacenados a la espera del siguiente proceso de producción, este inventario es transitorio y depende del ciclo de producción para el cual será utilizado” (p.32).

Según la Fundación Iberoamericana de Altos Estudios Profesionales (2014) “son aquellos materiales que han sido modificados por el proceso productivo de la empresa, pero que todavía no son aptos para la venta. Ejemplo: ensambladora de vehículos tiene como inventario asientos de cuero” (p.12).

Castillo (2005) define a los productos en proceso como “materiales en proceso de producción” (p. 2).

7.3.4.1.3. Producto terminado

La Fundación Iberoamericana de Altos Estudios Profesionales (2014) define a este tipo de inventarios como “aquellos donde se contabilizan todos los

productos que van a ser ofrecidos a los clientes, es decir que se encuentran aptos para la venta” (p.12).

Marín (2014) expone que “dichos inventarios almacenan productos que han pasado por todo el ciclo de producción y están listos para ser distribuidos al cliente final. El nivel de este inventario depende de la proyección de ventas y de la programación de la producción” (p.33).

Castillo (2005) da una definición más simple: “los materiales que han pasado por los procesos productivos correspondientes y que serán destinados a su comercialización o entrega” (p. 2).

7.3.4.1.4. Repuestos

El inventario de repuestos se presenta regularmente en empresas dedicadas a la manufactura y requiere tener repuestos para la reparación de la maquinaria industrial utilizada en sus procesos, con la finalidad de evitar paros en el ciclo productivo.

Marín (2014) expone:

Dichos inventarios se presentan regularmente en empresas manufactureras. Pueden llegar a representar un monto considerable de acuerdo con el tipo de empresa. Existen procesos de producción muy largos y complicados donde la utilización de maquinaria es intensiva. En estos casos, se tienen grandes almacenes de repuestos y accesorios para evitar un paro en el ciclo productivo, debido a la falta de una parte esencial de la maquinaria y de los equipos. (p. 34).

7.3.4.2. Tipos de inventario según su función

Dentro de la clasificación de los inventarios, existen inventarios que cumplen una tarea especial o definida, esta clasificación de inventarios se enfoca en la función que desempeñan en la empresa. Los inventarios según su función son los que se detallan a continuación.

7.3.4.2.1. Inventario de ciclo

Vidal (2017) describe un inventario de ciclo como “el resultado de producir u ordenar en lotes, en lugar de unidad por unidad y están directamente relacionados con la demanda promedio del ítem” (p. 47). Castillo (2005) indica que “el inventario de ciclo resulta cuando la cantidad de unidades compradas o producidas con el fin de reducir los costos por unidad de compra es mayor que las necesidades inmediatas de la empresa” (p.4). Algunas de las razones para usar dicho tipo de inventario son obtener economías a escala al evitar altos costos de compra y lograr descuentos por volumen.

7.3.4.2.2. Inventario en tránsito

Existen diversas definiciones de inventario en tránsito, cada autor lo define de distinta forma, a continuación se presentan algunas de estas definiciones.

Vidal (2017) lo define como “un inventario que incluye productos que se encuentran en tránsito entre diversas estaciones de producción, o en los sistemas de transporte entre una instalación y otra de la cadena de abastecimiento” (p. 48).

Castillo (2005) expone:

Un inventario en tránsito está constituido por materiales que avanzan en la cadena de valor. Estos materiales son artículos que se han pedido, pero no se han recibido todavía. El inventario se traslada de los proveedores a las empresas, a los subcontratistas y viceversa, de una operación a otra y de la empresa a los comercios. (p.3).

7.3.4.2.3. Inventario de seguridad

Un inventario de seguridad “es el que se conserva disponible para responder a todas las fluctuaciones aleatorias que puedan existir en el sistema” (Vidal, 2017, p.47)

Según Castillo (2005) un inventario de seguridad “es el que se mantiene para compensar los riesgos de paros no programados de la producción o incrementos inesperados en la demanda de los clientes” (p.3).

En resumen, dicho inventario es el que se debe mantener para suplir las necesidades o demandas no programadas, las cuales pueden darse por aumento de producción o fluctuaciones en la demanda. El inventario de seguridad ayudará a reducir los paros por falta de repuestos si se presenta alguno de estos casos.

7.3.4.2.4. Inventario de previsión

El inventario de previsión se da en empresas con picos de demanda, como por ejemplo en un ingenio azucarero en donde la cosecha ocurre durante determinado periodo del año y es necesario anticipar la demanda de insumos para la producción de azúcar.

Castillo (2005) define al inventario de previsión como “el inventario que se acumula cuando una empresa produce más de los requerimientos inmediatos durante los periodos de demanda baja para satisfacer las de demanda alta” (p.4). Vidal (2017) indica que el inventario de previsión o de anticipación “es el inventario acumulado con anterioridad para responder a picos de demanda” (p. 47).

7.3.5. Costos de inventarios

Tener un inventario trae consigo distintos costos, como los costos de manejo, mantenimiento, por faltante y sobrante y costos de salvamento. En los siguientes puntos se da una breve descripción de cada uno de dichos costos.

7.3.5.1. Costo de manejo de inventario

Los principales costos en el manejo de los inventarios son variables y van desde los costos por mantenimiento del almacén hasta los costos faltantes o sobrantes en el inventario. Según Bonilla (2017) “son costos variables que se pagan para contar con la materia prima necesaria para cumplir con una determinada demanda. Dentro de estos costos se tienen los intereses, almacenamiento y manejo, seguros, impuestos y mermas” (p. 7).

7.3.5.2. Costo de mantenimiento de almacén

De acuerdo con Vidal (2010) “el costo de mantenimiento del inventario debería incluir solo aquellos costos que son proporcionales al volumen promedio de inventario que se mantiene” (p. 49).

Bonilla (2017) indica que “los costos de mantenimiento incluyen los costos generados por almacenar productos, materia prima, repuestos, etc., en un periodo de tiempo determinado. Dentro de estos costos se encuentran los siguientes” (p.8):

- Costo de inmovilización de capital: el capital invertido en los inventarios se convierte en un costo real, debido a que ese mismo capital no puede utilizarse para otros fines.
- Costos por seguros: se incluyen estos costos debido a que el inventario debe estar protegido contra cualquier situación.
- Costos de almacenamiento: es el costo por tener un lugar o espacio físico destinado al almacenamiento de las mercancías.
- Costo por obsolescencia: se toma en cuenta este costo porque muchos de los materiales con el transcurso del tiempo se vuelven obsoletos.

La Fundación Iberoamericana de Altos Estudios Profesionales (2014) expone que “los costos de almacenaje representan costos tanto en capital inmovilizado como en costos de gestión física y administrativa de estos inventarios. Los costos de acumulación de inventarios pueden ser muy importantes dentro del capital de inversión de una empresa” (p. 12). Por lo tanto, el costo de mantenimiento de un inventario abarca los costos de manejo y almacenamiento, costo del espacio físico, costos de capital y de riesgo (obsolescencia, daños y filtraciones, y los seguros e impuestos).

7.3.5.3. Costo por faltante

Los costos por faltante son los costos que implican no tener existencias, esto afecta directamente a las áreas que necesitan el material, retrasando sus procesos o, en el presente caso, retrasando la reparación de los tractores.

Para comprender mejor este tipo de costo se presentan las siguientes definiciones:

“Se le conoce como costo por faltante cuando se deja de percibir una utilidad por unidad demandada, cuando se pierde un cliente por no tener inventario disponible para satisfacer la demanda” (Bonilla, 2017, p.9).

La Fundación Iberoamericana de Altos Estudios Profesionales (2014) define que “dichos costos son proporcionales a las ventas perdidas por inexistencia del producto, produce problemas de pérdida de imagen en la empresa” (p.12). Vidal (2010) define que el costo por faltante “se produce cuando se recibe una orden y no hay suficiente inventario disponible para cubrirla (puede ser que el *ítem* esté completamente agotado o que haya bajo inventario). Generalmente se expresa como un porcentaje del valor *v* del *ítem*” (p.53).

7.3.5.4. Costo por sobrante

Los costos por sobrantes se dan por el exceso de inventario de materiales que se utilizarán, pero la existencia puede tardar en consumirse, esto representa una pérdida en otro tipo de inversión o en alguna otra actividad donde se pudo haber utilizado este capital.

A continuación Bonilla (2017) y Vidal (2010) exponen su punto de vista sobre este tipo de costos. “Existe costo por sobrante cuando un material se mantiene en inventario en cantidades excesivas”. (Bonilla, 2017 p.9)

Vidal (2010) expone que el costo por sobrante:

Representa la mayor proporción de los costos de mantenimiento del inventario. A pesar de esto, es el costo menos tangible de todos los componentes del costo de inventario, ya que, en realidad, representa la posible pérdida de inversión en otras actividades que la empresa podría tener, donde al menos ganaría su tasa mínima de retorno sobre la inversión. (p. 49).

7.3.5.5. Costo por salvamento

Bonilla (2017) “indica que el costo por salvamento se conoce como el valor de recuperación de inventarios cuyo periodo de vida útil ha pasado” (p. 9).

Vidal (2010) expone que “los costos por salvamento representan los costos de obsolescencia, deterioro y depreciación del inventario. El deterioro puede deberse a condiciones naturales de los *ítems* en inventario, especialmente si se trata de artículos perecederos” (p. 50).

Este tipo de costos incluye a la obsolescencia y deterioro de los materiales en el inventario, en el caso del inventario de repuestos influyen distintos factores como el lugar y las condiciones de almacenamiento, actualmente en los almacenes de repuestos en el ingenio en estudio se cuenta con las condiciones necesarias para el almacenamiento de repuestos.

7.3.6. Clasificación de inventarios

Los inventarios pueden tener distintos tipos de materiales y su demanda se puede controlar de distintas formas, para el presente estudio se trabajará con un inventario de repuestos y para determinar cuál repuesto tiene mayor costo y cuál tiene mayor rotación se utilizará el análisis ABC.

7.3.6.1. Análisis ABC

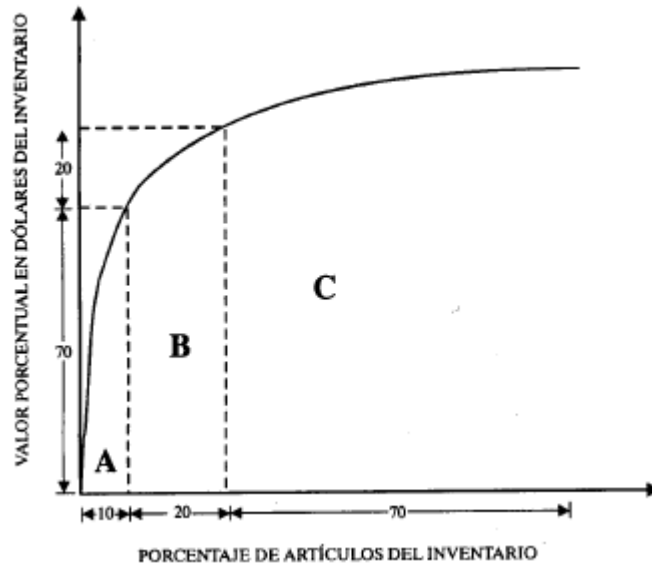
Para realizar correctamente un análisis ABC, primero se debe conocer para qué se utiliza y cómo ayudará en la clasificación de materiales en un inventario. En los siguientes párrafos varios autores definen lo que es un análisis ABC.

Duffuaa, Raouf & Dixon (2000) mencionan:

El análisis ABC se basa en el diagrama de Pareto, esto indica que los artículos significativos de un grupo generalmente constituyen solo una pequeña porción del número total de artículos de dicho grupo. Aplicando esta ley a la administración de inventarios, se podrá ver que una porción importante del valor de inventario (es decir, del 70% al 80%) normalmente comprenderá casi el 10% del número de artículos que se tienen en existencia. (p. 238).

Según Herrera (2012) “es parte de la observación de que pequeñas cantidades de equipos, A, representan una gran proporción del valor total del almacén, mientras que, recíprocamente, una gran cantidad de equipos, C, representan solamente una pequeña proporción” (p. 5). En resumen, un análisis ABC es básicamente un diagrama de Pareto, con el que se determina qué materiales tienen mayor valor y poca rotación y qué materiales tienen menor valor y mayor rotación en el inventario.

Figura 9. **Diagrama de Pareto**



Fuente: Duffua, S.; Raouf, A. & Dixon, J. (2000). *Sistemas de mantenimiento*.

Para realizar un diagrama de Pareto se debe proceder como se indica a continuación:

- Seleccionar la base de datos a analizar de un periodo determinado de tiempo, para el presente estudio se analizarán datos de dos a tres años atrás, se debe tener el costo y la cantidad utilizada de cada repuesto.
- Como siguiente paso se calculan los costos de cada repuesto utilizados durante ese periodo como un porcentaje del costo total de los artículos en el inventario.
- A continuación se ordena el listado de mayor a menor según el porcentaje del inciso anterior.

- Como siguiente paso se realiza un gráfico colocando el porcentaje de los artículos usados en el eje X, y en el eje Y el porcentaje de su costo, el cual se calculó en el segundo inciso.
- El siguiente paso es seleccionar los artículos según la cantidad de artículos y el porcentaje que representan dentro del costo total, la clasificación se detalla en la tabla I.

Tabla I. **Clasificación ABC**

Clase	% Artículos	% Costo total
A	10% a 20%	60% a 80%
B	20% al 30%	20% al 30%
C	60% al 80%	10% al 20%

Fuente: elaboración propia.

El presente estudio se enfocará en los artículos clase A, que tienen alta inversión de capital y baja rotación, se recomienda realizar un análisis a dichos artículos para tener un control al momento de realizar alguna compra, para dicho control se proponen los modelos probabilísticos que se definen más adelante.

Los artículos de clase B se solicitan en cantidades mayores en comparación a los de la clase A y pueden tener existencias de seguridad más elevadas.

La clase C representa un 10 % de la inversión, son los artículos de menor costo y mayor existencia. Dichos artículos son de alta rotación y su control es más simple.

7.4. Análisis de criticidad

El análisis de criticidad en el presente estudio se utilizará como una forma de clasificación para los repuestos que son críticos para el funcionamiento de los tractores, repuestos que sin tener existencia en el inventario los tractores pueden pasar largos periodos de tiempo en reparación. Para comprender a fondo este análisis se presentan las siguientes definiciones de distintos autores:

Según Romero (2013):

Es una metodología que permite establecer jerarquías entre instalaciones, sistemas, equipos y elementos de un equipo, de acuerdo con su impacto total en el negocio. Además de esto apoya a la toma de decisiones para administrar esfuerzos en la gestión de mantenimiento, ejecución de proyectos de mejora, rediseños con base en el impacto en la confiabilidad actual y en los riesgos. (p. 1).

Orrego (2016) expone que “el análisis de criticidad permite establecer la jerarquía de procesos, activos en general, sistemas, equipos y componentes” (p. 1). Según el Estudio de Criticidad de Equipos (2005) la criticidad es una medida ponderada que considera el efecto que provocaría una falla del equipo dentro del proceso, la velocidad de reparación de la falla y la frecuencia en la que ocurre.

Lo que los autores definen en general es la jerarquización de cada parte y componente, en el caso de este estudio de un tractor, para definir qué repuestos son críticos ya que su ausencia causaría retrasos en su operación.

7.4.1. Definiciones de la metodología del análisis de criticidad

Para comprender de una mejor manera el análisis de criticidad es necesario tener conocimiento de las siguientes definiciones:

- Activo: es un recurso que posee un valor, puede ser humano, físico o intangible.
- Modo de falla y efectos (FMECA): permite medir el impacto de las fallas en un componente y la frecuencia en que se repiten, permite definir acciones correctivas para las áreas en donde tienen mayor repercusión.
- Causa de falla: se denomina causa de falla a todos los factores relacionados con los componentes, como instalación, diseño y uso que haya desencadenado una falla.
- Confiabilidad operacional: capacidad de un componente para cumplir su fin.
- Consecuencia de una falla: se toman en cuenta desde el punto de vista de seguridad, impacto ambiental y económico.
- Contexto operacional: se le dice de esta forma a los aspectos relacionados con el entorno en el que se encuentra el equipo.

- Defecto: se le puede llamar defecto a las imperfecciones en el diseño de los componentes, los cuales pueden causar una falla inmediata, desalineación o mal ajuste.
- Modo de falla: se le dice modo de falla a la forma en que la falla es observada, indica cómo ocurre la falla y cómo afecta en la operación.
- Efecto de falla: detalla lo que se observa en cada modo de falla.
- Falla: error o imperfección que impide que un mecanismo o componente no funcione bien.
- Mecanismo de falla: proceso químico o físico que produce el deterioro de los componentes dando inicio a una falla.

7.4.2. Metodología de Análisis de Criticidad

Como lo indica Romero (2013) para determinar la criticidad:

Se utiliza una matriz de frecuencia por consecuencia de la falla, en un eje se representa la frecuencia de fallas y en otro los impactos o consecuencias en los cuales incurrirá la unidad o equipo en estudio si le ocurre una falla. (p.3).

Figura 10. **Matriz de criticidad**

Categoría de Frecuencia	5	M	M	A	A	A
	4	M	M	A	A	A
	3	B	M	M	A	A
	2	B	B	M	M	A
	1	B	B	B	M	A
	Categoría de consecuencias	1	2	3	4	5

Niveles de criticidad

B	Baja
M	Media
A	Alta

Fuente: Romero, P. (2013). *Análisis de criticidad y estudio RCM del equipo de máxima criticidad de una planta desmotadora de algodón.*

En la figura 10 se puede apreciar que la matriz posee 3 colores que indican de menor a mayor los niveles de intensidad o niveles de criticidad en el equipo en análisis.

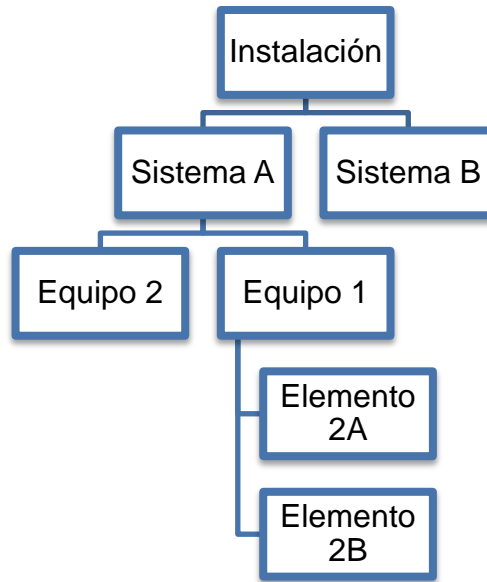
7.4.3. Pasos para realizar un análisis de criticidad

Se deben cumplir los pasos que se detallan a continuación, para poder realizar el análisis.

7.4.3.1. Definir niveles de análisis

En el primer paso se determina la criticidad y se debe definir la jerarquización de los equipos y los niveles en donde se realizará el análisis, ya sea sistemas, instalación o equipos.

Figura 11. **Niveles de análisis**



Fuente: Romero, P. (2013). *Análisis de criticidad y estudio RCM del equipo de máxima criticidad de una planta desmotadora de algodón.*

Para realizar este paso se debe tener información como la relación que tiene cada una de las instalaciones, la relación del sistema y equipo, la ubicación y servicio, diagramas de flujo y proceso. Se requiere tener datos históricos de eventos o fallas al igual que su frecuencia y también se debe saber el impacto que dichas fallas tienen en la producción y seguridad del proceso.

7.4.3.2. Definir criticidad

Para definir la frecuencia de falla y el impacto que tiene cada falla en los componentes se utilizarán rangos y criterio preestablecidos. Según Romero (2013) la estimación de dicha frecuencia se da indicando que “para cada equipo

puede existir más de un modo de falla, el más representativo será el de mayor impacto en el proceso o sistema. La frecuencia de ocurrencia del evento se determina por el número de eventos por año” (p.5).

La tabla II detalla los criterios para la estimación de frecuencia, se utiliza el tiempo promedio entre fallas (TPEF) o la frecuencia de falla en número de eventos por año.

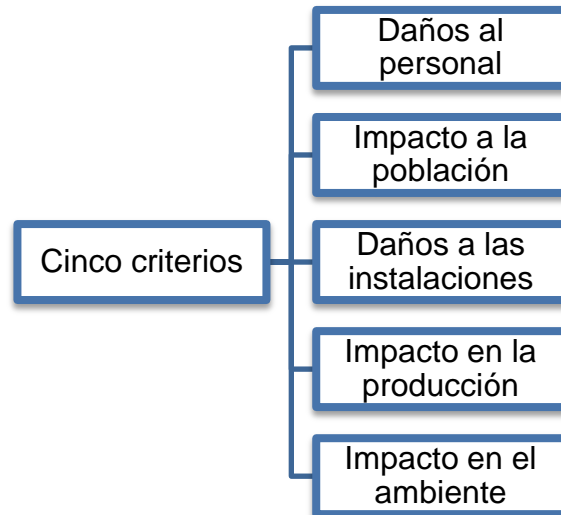
Tabla II. **Criterios de estimación de frecuencia**

Categoría	Tiempo promedio entre fallas TPEF (años)	Fallas por año	Interpretación
5	$TPEF < 1$	$\lambda > 1$	Probabilidad de varias fallas en un año.
4	$1 \leq TPEF < 10$	$0.1 < \lambda \leq 1$	Probabilidad de varias fallas en 10 años, poca probabilidad de ocurrencia en 1 año.
3	$10 \leq TPEF < 100$	$0.01 < \lambda \leq 0.1$	Probabilidad de fallas en 100 años, probabilidad baja de ocurrencia se espera que ocurran en 10 años.
2	$100 \leq TPEF < 1000$	$0.001 < \lambda \leq 0.01$	Pueden ocurrir varias fallas en 1000 años, pero es poco probable que ocurran en 1000 años, es probable que ocurran varias fallas en 1000 años, pero baja probabilidad de que ocurran en 100 años.
1	$TPEF \geq 1000$	$0.001 \leq \lambda$	Es poco probable que ocurran en 1000 años.

Fuente: Romero, P. (2013). *Análisis de criticidad y estudio RCM del equipo de máxima criticidad de una planta desmotadora de algodón.*

En la figura 12 se describen los criterios y rangos preestablecidos para estimar las consecuencias que tienen las fallas en los equipos.

Figura 12. **Criterios y rangos para estimación de consecuencia de fallas**



Fuente: Romero, P. (2013). *Análisis de criticidad y estudio RCM del equipo de máxima criticidad de una planta desmotadora de algodón.*

En el criterio de daños al personal se encuentran los daños a los operadores e impacto en el ambiente y serán categorizados según los criterios que se muestran dentro de la tabla III de categoría de impactos.

El impacto en la producción (IP) detalla las consecuencias que las fallas generan sobre el negocio. Dicho criterio se determinará considerando los tiempos promedio para reparación (TPPR), producción diferida y los costos de producción.

$$IP = (TPPR \times \text{producción diferida} \times \text{costo unitario})$$

El resultado de la formula anterior permitirá categorizar el impacto en la producción según los criterios de la tabla III de categoría de impactos.

El criterio de daños a las instalaciones (DI) se deberá evaluar tomando en cuenta los equipos afectados, los costos de reparación (CR) y los costos de reposición de equipos (CRE).

$$DI = (CR + CRE)$$

El resultado indicará la categoría del criterio de daño a las instalaciones según la tabla III de categorías de impactos.

Tabla III. **Categorías de impactos**

Categoría	Daños al personal	Efecto en la Población	Impacto ambiental	Pérdida de producción (USD)	Daños a la instalación (USD)
5	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Muerto o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la comunidad.	Daños irreversibles al ambiente y que violen regulaciones y leyes ambientales.	Mayor de 50 MM	Mayor de 50 MM
4	Incapacidad parcial, permanente, heridas severas o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Incapacidad parcial, permanente, daños o enfermedades en al menos un miembro de la población.	Daños irreversibles al ambiente pero que violan regulaciones y leyes ambientales.	De 15 a 50 MM	De 15 a 50 MM
3	Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalación. Requiere suspensión laboral.	Puede resultar en la hospitalización de al menos 3 personas.	Daños ambientales regables in violación de leyes y regularizaciones, las restauración puede ser acumulada.	D 5 a 15 MM	De 5 a 15 MM
2	El personal de la planta requiere tratamiento médico o primeros auxilios.	Puede resultar en heridas o enfermedades que requieran tratamiento médico o primeros auxilios.	Mínimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones.	De 500 mil a 5 MM	DE 500 mil a 5 MM
1	Sin impacto en el personal de la planta.	Sin efecto en la población.	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones.	Hasta 500 mil	Hasta 500 mil

Fuente: Romero, P. (2013). *Análisis de criticidad y estudio RCM del equipo de máxima criticidad de una planta desmotadora de algodón.*

En la tabla III de categoría de impactos, con el valor de la columna categoría que se seleccione se establecerá las consecuencias y con ello se realizará el cálculo de criticidad.

El impacto de una falla se determina sumando los valores de las categorías de cada criterio por el valor de la ocurrencia de falla.

7.4.3.3. Cálculo de nivel de criticidad

Según la Guía SCO (2012) “para determinar el nivel de criticidad de una instalación, sistema, equipo o elemento se debe emplear la fórmula de criticidad = frecuencia x consecuencia” (p. 12).

Para la variable frecuencia se utilizan los valores de la tabla II de criterios de estimación de frecuencia y para la variable consecuencia se utiliza la tabla III de categoría de impactos.

Teniendo el valor de la criticidad según la formula, se procede a buscarla en la matriz de criticidad (figura 13), para determinar el nivel de criticidad de acuerdo con la jerarquización y valores establecidos.

Figura 13. Matriz de criticidad-PEP

Frecuencia	5	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
	4	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100
	3	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75
	2	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
	1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	Impacto																					

Criticidad Alta	A	Rojo	$50 \leq \text{Criticidad} \leq 125$
Criticidad Media	B	Amarillo	$30 \leq \text{Criticidad} \leq 49$
Criticidad Baja	C	Verde	$5 \leq \text{Criticidad} \leq 29$

Fuente: Romero, P. (2013). *Análisis de criticidad y estudio RCM del equipo de máxima criticidad de una planta desmotadora de algodón.*

7.4.3.4. Análisis y validación de resultados

Se deberán analizar los resultados con el fin de implementar acciones correctivas que minimicen las consecuencias que causan las fallas en la funcionalidad del equipo. Dicho análisis permitirá la validación de los resultados con el objetivo de identificar cualquier tipo de desviación que amerite el recálculo de la criticidad.

7.4.3.5. Definir el nivel de análisis

Romero (2013) indica que “el resultado obtenido de la frecuencia de ocurrencia por el impacto permite jerarquizar los problemas, componentes, equipos, sistemas o procesos, basado en la criticidad.Cuál es el objetivo de la aplicación de la metodología” (p. 8). La identificación de los repuestos críticos al igual que la valoración de su criticidad proporcionará una ayuda para identificar en dónde se deben orientar los recursos y esfuerzos para tener los mejores resultados.

7.4.3.6. Determinar la criticidad

Al determinar criticidad de las partes del tractor y las frecuencias de falla, se deben tomar acciones que permitan solventar o mitigar dichas fallas.

Según la Guía SCO (2012):

Permite completar la metodología, sin formar parte de la misma. Cuando en la evaluación de un activo obtenemos frecuencias de ocurrencias altas, las acciones recomendadas para llevar la criticidad de un valor más tolerable deben orientarse a reducir la frecuencia de ocurrencia del

evento. Si el valor de criticidad se debe a valores altos en alguna de las categorías de consecuencias, las acciones deben orientarse a mitigar los impactos que el evento (modo de falla o falla funcional) puede generar. (p.8).

Se recomienda tomar acciones para identificar las causas raíz de las fallas y mitigar sus efectos en las partes críticas del tractor, en el presente estudio la criticidad será utilizada para clasificar los repuestos críticos y asegurar la existencia de dichos repuestos en el inventario.

7.4.3.7. Sistema de seguimiento de control

Es necesario llevar un sistema de control para los repuestos críticos, Romero (2013) señala:

Después de la selección de las acciones de mejora en las frecuencias de ocurrencia de los eventos y mitigación de impactos se debe crear y establecer un seguimiento y control, para garantizar el monitoreo de la ejecución de las acciones seleccionadas y el cumplimiento de las recomendaciones consecuentes de AC. (p. 8).

Dicho seguimiento y control se realiza para asegurar la continuidad de las acciones resultantes del análisis de criticidad y monitorear los cambios que se deriven de dichas acciones y así poder determinar si es necesario realizar un nuevo análisis.

7.5. Estadística

En el estudio presente se utilizarán modelos probabilísticos, por lo que es necesario tener conocimiento de varios conceptos, entre ellos está la estadística, a continuación se presentan algunas definiciones.

La estadística puede definirse como “el conjunto de métodos y procedimientos que implican recopilación, presentación, ordenación y análisis de datos, con el fin que a partir de ellos puedan inferirse conclusiones” (Morales, 2012, p.4).

Sierra, citado por Nolberto & Ponce (2008) indica:

La ciencia formada por un conjunto de teorías y técnicas cuantitativas, que tienen por objeto la organización, presentación, descripción, resumen y comparación de conjuntos de datos numéricos, obtenidos de poblaciones en su conjunto de individuos o fenómenos o bien de muestras que representan las poblaciones estudiadas, así como el estudio de su variación, propiedades, relaciones, comportamiento probabilístico de dichos datos y la estimación, inferencia o generalización de los resultados obtenidos de muestras, respecto a las poblaciones que aquellas representan. La estadística se usa en la investigación científica, dada la necesidad de manejar y tratar en ellas grandes cantidades, progresivamente crecientes, de datos. (p.10).

Ruiz (2005) la define así:

La estadística es la ciencia cuyo objetivo es reunir una información cuantitativa concerniente a individuos, grupos, series de hechos, etc., y deducir de ello gracias al análisis de estos datos unos significados precisos o unas previsiones para el futuro. La estadística, en general, es la ciencia que trata de la recopilación, organización, presentación, análisis e interpretación de datos numéricos con el fin de realizar una toma de decisión más efectiva. (p.3).

7.5.1. Tipos de estadística

Existen dos ramas diferentes dentro de la estadística, las cuales son la descriptiva y la inferencial, a continuación se explicará cada una de ellas.

7.5.1.1. Estadística descriptiva

La estadística descriptiva es utilizada para analizar poblaciones o conjuntos de datos, con el fin de facilitar su uso generalmente con el apoyo de gráficos y tablas para presentar los resultados. “La estadística descriptiva es la que se utiliza en la descripción y análisis de conjuntos de datos o población” (Morales, 2012, p.4).

Ruiz (2005) explica que consiste en:

La presentación de datos en forma de tablas y gráficas. Esta comprende cualquier actividad relacionada con los datos y está diseñada para resumir o describir los mismos sin factores pertinentes adicionales; esto es, sin intentar inferir nada que vaya más allá de los datos como tales. (p.6).

7.5.1.2. Estadística inferencial

A continuación se presentan distintas definiciones de la estadística inferencial:

“La estadística inferencial hace posible la estimación de una característica de una población o la toma de una decisión con respecto a una población, con base únicamente en resultados muestrales” (Morales, 2012, p.4).

Ruiz (2005) explica:

Se deriva de muestras, de observaciones hechas solo acerca de una parte de un conjunto numeroso de elementos y esto implica que su análisis requiere de generalizaciones que van más allá de los datos. Como consecuencia, la característica más importante del reciente crecimiento de la estadística ha sido un cambio en el énfasis de los métodos que describen a métodos que sirven para hacer generalizaciones. La estadística inferencial investiga o analiza una población partiendo de una muestra tomada. (p.6).

Según lo indican dichos autores en sus definiciones, la estadística inferencial es una forma de razonamiento que parte de una premisa y deriva de ella una conclusión o resultado.

7.5.2. Definiciones

El presente estudio utiliza métodos estadísticos inferenciales, para comprender su estudio y aplicación es imperativo conocer los conceptos presentados a continuación.

7.5.2.1. Población

Canavos (1988) define a la población como “la colección de toda posible información que caracteriza a un fenómeno” (p.1). Morales (2012) define población como “la totalidad de elementos sobre los cuales recae la investigación. A cada elemento se le llama unidad estadística, esta se le observa o se le somete a una experimentación” (p.1). En resumen, la población es el conjunto total de repuestos en el cual se basará el estudio.

7.5.2.2. Muestra

Según Canavos (2012) “una buena muestra es aquella que refleja las características esenciales de la población de la cual se obtuvo” (p.1). Sierra, citado por Nolberto & Ponce (2008) anota que “una muestra en general, es toda parte representativa de la población, cuyas características debe reproducir en pequeño lo más exactamente posible” (p. 10). Por su parte, Morales (2012) indica: “es un subconjunto o una porción de la población” (p. 4).

7.5.2.3. Muestra aleatoria

Nolberto & Ponce (2008) definen a la “muestra aleatoria de tamaño n de la función de distribución de la variable aleatoria X como una colección de n variables aleatorias independientes $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ cada una con la misma función de distribución de la variable aleatoria X ” (p. 22). Morales (2012) dice: “es aquella obtenida de modo que cada elemento de la población tiene una oportunidad igual e independiente de ser elegido” (p.5).

7.5.2.4. Parámetro

Sierra, citado por Nolberto & Ponce (2008) indica:

Un parámetro en estadística se refiere a los valores o medidas que caracterizan una población como por ejemplo la media y la desviación típica de una población son cantidades indeterminadas constantes o fijas respecto a una condición o situación que caracteriza a un fenómeno en un momento dado que ocurre en una población. (p. 24).

7.5.2.5. Estadístico

Nolberto & Ponce (2008) señalan:

Un estadístico se contrapone al parámetro, porque es un valor que se obtiene a partir de los valores muestrales, se puede obtener media y varianzas muestrales, por ejemplo: los estadísticos son variables aleatorias porque están sujetos a la fluctuación de la muestra con relación al valor poblacional que se asume es constante. (p.15).

7.5.2.6. Distribución muestral

Sierra, citado por Nolberto & Ponce (2008) anota que:

La distribución muestral está formada por estadísticos o valores determinados obtenidos de muestras: medias, varianzas, etc., acompañados de sus respectivas frecuencias relativas o probabilidades, o de la proporción de veces que se repiten en el conjunto de todas las muestras posibles del mismo tamaño obtenidas de la población. (p.10).

7.5.3. Probabilidad

Para comprender detalladamente la probabilidad de falla para los repuestos del inventario en estudio es necesario conocer la definición de los siguientes términos clave.

7.5.3.1. Definiciones de probabilidad

Existen varias definiciones de probabilidad dependiendo de su punto de vista, a continuación se presentan 2 definiciones de distintos autores.

La definición clásica de probabilidad según lo indica Canavos (1988) es: “si un experimento que está sujeto al azar resulta de n formas igualmente probables y mutuamente excluyentes, y si n_A de estos resultados tienen atributo A , la probabilidad de A es la proporción de n_A con respecto a n ” (p. 29).

Ruiz (2005) expone a la probabilidad como “un experimento aleatorio cuyo correspondiente espacio muestral E está formado por un número n finito de posibles resultados distintos y con la misma probabilidad de ocurrir $\{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ ” (p. 85).

Según las definiciones anteriores la probabilidad es el cálculo matemático de las posibilidades que existen de que un evento se cumpla o suceda al azar.

7.5.3.2. Variables aleatorias

Son funciones que asignan valor al resultado de un experimento aleatorio.

Según Canavos (1988):

Sea S un espacio muestral sobre el que se encuentra definida una función de probabilidad. Sea X una función de valor real definida sobre S , de manera que transforme los resultados de S en puntos sobre la recta de los reales. Se dice entonces que X es una variable aleatoria.

Se dice que X es aleatoria porque involucra la probabilidad de los resultados del espacio muestral, y X es una función definida sobre el espacio muestral, de manera que transforma todos los posibles resultados del espacio muestral en cantidades numéricas” (págs. 52-53).

Como lo indica Morales (2012): “una variable aleatoria es una función que asocia un número real a cada elemento del espacio muestral” (p. 86).

Una variable aleatoria puede ser de dos tipos: discretas o continuas. A continuación se presenta una breve descripción de cada una de ellas.

7.5.3.3. Distribución discreta de probabilidades

Según Canavos (1988): “una variable aleatoria X es discreta si el número de valores que puede tomar es contable y si estos pueden arreglarse en una secuencia que corresponde con los enteros positivos” (p. 53).

Morales (2012) explica:

Una variable aleatoria discreta asume cada uno de sus valores con una cierta probabilidad. Con mucha frecuencia es conveniente representar con una fórmula todas las probabilidades de una v.a X . Dicha fórmula, necesariamente, debe ser función de los valores numéricos x , y que se representa por $f(x)$, $g(x)$, $h(x)$, etc. Por lo tanto, $f(x)=P(X=x)$. Al conjunto de pares ordenados $(x,f(x))$ se le llama función de probabilidad o distribución de probabilidad de la v.a discreta X . (p .87).

Walpole, Myers, & Myers (1999) indican que “si un espacio muestral contiene un número finito de posibilidades o una serie interminable con tantos elementos como números enteros existen, se llama espacio muestral discreto” (p. 53).

En resumen, una distribución discreta es una serie de posibles resultados asociados a una variable aleatoria. En el presente estudio se realizará un

análisis para la probabilidad de falla de repuestos por medio de la distribución discreta Poisson.

7.5.3.4. Distribuciones discretas: distribución Poisson

Morales (2012) indica:

Los experimentos que resultan en valores numéricos de una v.a X y que representan la cantidad de resultados durante un intervalo de tiempo dado o en una región específica frecuentemente se llaman experimentos Poisson. El intervalo de tiempo dado puede ser de cualquier duración, por ejemplo, un minuto, un día, una semana, un mes o inclusive un año. Por tal motivo un experimento Poisson puede generar observaciones para una cierta v.a X que representen la cantidad de llamadas telefónicas por hora que se recibe en una oficina, el número de días en que una determinada escuela se cierra en invierno debido a la nieve, o al número de juegos pospuestos debido a la lluvia durante una temporada de fútbol. El número X de resultados que ocurren en un experimento Poisson se llama v.a. de Poisson. (p. 87).

El número de resultados se calcula de la siguiente forma:

$$\mu = E(X) = \lambda t,$$

donde t es el tiempo específico de interés.

La función es la siguiente:

$$f(X) = \frac{e^{-\lambda t}(\lambda t)^x}{x!} \quad X=0,1, 2, 3,,,$$

$$f(X) = \frac{e^{-\mu}(\mu)^x}{x!}$$

$$X \sim P(\mu)$$

Según Herrera (2012):

Es una función discreta que representa el número total de ocurrencias de un fenómeno aleatorio durante un periodo de tiempo fijo o en una región fija del espacio, tales como el número de defectos en una longitud, especifican de una cinta magnética el número de partículas atómicas emitidas por una fuente radiactiva que golpea cierto blanco durante un tiempo fijo, etc.” (p. 25).

7.5.3.5. Distribución continua de probabilidades

Según Morales (2012): “una variable aleatoria continua tiene probabilidad cero de asumir cualquiera de sus valores. Luego, su distribución de probabilidad no puede darse en forma tabular, pero si puede tener una fórmula a dicha fórmula se le llama función de densidad” (p. 86). Walpole (1999) indica que “si un espacio muestral contiene un número infinito de posibilidades igual al número de puntos en un segmento de línea, se llama espacio muestral continuo” (p. 53).

Según las definiciones anteriores una distribución continua puede tener un número infinito de valores dentro de un intervalo dado. Para realizar el presente

estudio se tomará el modelo discreto Poisson y también se realizará el análisis con la distribución continua Weibull, la cual se define en el siguiente inciso.

7.5.3.6. Distribuciones continuas: distribución Weibull

Morales (2012) señala:

La distribución Weibull fue establecida por el físico suizo del mismo nombre, quien demostró, con base en una evidencia empírica, que el esfuerzo al que se someten los materiales puede moldearse de manera adecuada mediante el empleo de esta distribución. En los últimos años este modelo se empleó para situaciones del tipo tiempo-falla y con el objetivo de lograr una amplia variedad de componentes mecánicos y eléctricos. (p. 86).

Una variable aleatoria X tiene una distribución de Weibull si su función de densidad de probabilidad está dada por:

$$f(x; \alpha, \theta) = \begin{cases} \frac{\alpha}{\theta^\alpha} x^{\alpha-1} \exp[-(x/\theta)^\alpha] & x > 0; \alpha, \theta > 0 \\ 0 & \end{cases}$$

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. La industria azucarera en Guatemala

1.1.1. Historia de la elaboración del azúcar

1.1.2. El azúcar

1.1.3. Materias primas

1.1.4. Aspectos generales de fabricación

1.2. Tractor y uso en la industria

1.2.1. Partes de un tractor y su funcionamiento

1.2.1.1. Motor

1.2.1.2. Transmisión

1.2.1.3. Diferencial

1.2.2. Lista y diagrama de partes

1.2.3. Lista de partes del tractor

1.2.4. Uso en la industria

1.3. Inventarios

- 1.1.5. Propósito de los inventarios
- 1.1.6. Administración de inventarios
- 1.1.7. Finalidad de la administración de inventarios
- 1.1.8. Tipos de inventario
- 1.1.9. Tipos de inventario según su forma
 - 1.1.9.1. Materia prima
 - 1.1.9.2. Productos en proceso
 - 1.1.9.3. Producto terminado
 - 1.1.9.4. Repuestos
- 1.1.10. Tipos de inventario según su función
 - 1.1.10.1. Inventario de ciclo
 - 1.1.10.2. Inventario en tránsito
 - 1.1.10.3. Inventario de seguridad
 - 1.1.10.4. Inventario de previsión
- 1.1.11. Costos de inventarios
 - 1.1.11.1. Costo de manejo de inventario
 - 1.1.11.2. Costo de mantenimiento de almacén
 - 1.1.11.3. Costo por faltante
 - 1.1.11.4. Costo por sobrante
 - 1.1.11.5. Costo por salvamento
- 1.1.12. Clasificación de inventarios
 - 1.1.12.1. Análisis ABC
 - 1.1.12.2. Análisis de criticidad
 - 1.1.12.3. Definiciones de la metodología del análisis de criticidad
 - 1.1.12.4. Metodología de análisis de criticidad
 - 1.1.12.5. Pasos del análisis de criticidad
- 1.4. Estadística
 - 1.4.1. Tipos de estadística

- 1.4.1.1. Estadística descriptiva
- 1.4.1.2. Estadística inferencial
- 1.4.2. Definiciones
 - 1.4.2.1. Población
 - 1.4.2.2. Muestra
 - 1.4.2.3. Muestra aleatoria
 - 1.4.2.4. Muestra aleatoria aplicada
 - 1.4.2.5. Parámetro
 - 1.4.2.6. Estadístico
 - 1.4.2.7. Distribución muestral
- 1.4.3. Probabilidad
 - 1.4.3.1. Definiciones de probabilidad
 - 1.4.3.2. Variables aleatorias
 - 1.4.3.3. Distribución discreta de probabilidades
 - 1.4.3.4. Distribuciones discretas: distribución Poisson
 - 1.4.3.5. Distribución continua de probabilidades
 - 1.4.3.6. Distribuciones continuas: distribución Weibull

2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

A continuación se describe el enfoque, diseño, tipo de estudio, variables, fases y los resultados esperados para la presente investigación.

9.1. Enfoque de investigación

El enfoque del presente diseño de investigación es mixto, puede ser cuantitativo tanto como cualitativo. Es cuantitativo debido a que se realiza una medición de variables para control y evaluación del proceso. Es cualitativo porque utiliza revisión documental cuando se investigan los antecedentes del problema y el marco teórico relacionado.

9.2. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es no experimental, lo cual se debe a que se analizarán datos que se obtienen mediante el estudio del comportamiento del inventario a lo largo del tiempo, se analizará la criticidad, rotación de inventario y niveles de inventario. Dichas variables serán sometidas a análisis por medio de técnicas o modelos estadísticos para determinar una solución del problema.

9.3. Tipo de investigación

La metodología empleada para desarrollar la investigación es del tipo descriptivo, para poder realizar un análisis de la probabilidad de falla de partes críticas, por medio de modelos estadísticos, con el propósito de definir un nivel óptimo en el inventario de repuestos para tractores John Deere 5725.

La investigación es tipo descriptiva debido a que se busca solución a un problema real, que puede existir en cualquier empresa. Para dicha solución es necesaria la recopilación de datos, en este caso referentes al manejo de los repuestos del tractor en estudio y someterlos a un análisis exhaustivo para obtener los mejores resultados.

9.4. Definición de variables

Para la presente investigación se analizarán distintas variables, las cuales al final del estudio brindarán la mejor solución al problema. Entre las variables a analizar están la criticidad de cada repuesto, en dicho análisis se medirá la criticidad que representa cada parte del tractor para su funcionamiento. Para ello se realizará un análisis de criticidad.

Otra de las variables del estudio es la rotación de cada repuesto en el inventario, por medio del análisis ABC se determinará qué repuestos son los que tienen menor rotación.

La última variable es la de probabilidad de falla, la cual se determinará por medio de modelos probabilísticos, con los cuales se obtendrá el nivel de *stock* que se requiere en el inventario.

En la tabla III se presentan las variables, su definición e indicador correspondiente.

Tabla IV. Definición de variables

Objetivo	Variable	Definición Conceptual	Definición Operativa	Indicador	Herramientas	Plan de Tabulación
Determinar cuales repuestos son críticos.	Criticidad	Permite establecer jerarquías entre instalaciones, sistemas, equipos y elementos de un equipo.	Se clasificarán los materiales según la criticidad de cada parte del tractor en cuestión, dicha clasificación se realizará por medio de un análisis de criticidad.	Frecuencia X Consecuencia	Análisis de criticidad.	Matriz de criticidad.
Determinar que repuestos tienen mayor y menor rotación.	Rotación	Permite identificar los repuestos que tienen más movimiento en el inventario.	Se realizará una clasificación de los repuestos según su rotación en el inventario y se tomarán los repuestos de menor rotación.	(salidas/salidas totales)X100	Análisis ABC, 80/20 o diagrama de Pareto.	Matriz de frecuencias.
Determinar el porcentaje de falla de cada repuesto.	% Falla	Probabilidad de falla según las distribuciones utilizadas (Weibull y poisson).	Dichos porcentajes de falla serán calculados con las dos distribuciones propuestas en el presente estudio.	$F(t) = 1 - R(t)$	Modelos probabilísticos (Poisson y Weibull)	Matriz de probabilidades.

Fuente: elaboración propia.

La metodología utilizada para la investigación se divide en cuatro fases:

- Fase 1: consta del estudio preliminar y la base teórica de los principios o métodos que se utilizarán para el desarrollo de la investigación propuesta, se presenta información general del tractor en estudio y de los principales puntos a tratar como los inventarios, el análisis de criticidad y los modelos probabilísticos. La fase 1 se realizará en 25 días.
- Fase 2: se recopilarán datos o información del tractor 5725. Se realizará un listado de todas las partes del tractor. Después de tener el listado se procederá a reunir datos de fallas y los mantenimientos que se han realizado. Para la recolección de datos se necesitará el apoyo de los mecánicos del taller, manuales del fabricante y listas de chequeo de mantenimiento. También se realizarán entrevistas y se recopilará la información del sistema que facilitará información de los consumos de

cada repuesto. Para llevar a cabo la primera fase se estima un tiempo de 37 días.

- Fase 3: consta de un análisis ABC del inventario, el cual proporcionará información de los materiales que representan menor rotación en el inventario, el cual se realiza por un análisis 80/20. Después de la clasificación ABC se determinará la criticidad de cada repuesto por medio de un análisis de criticidad, el cual indicará qué repuestos son los más críticos para el funcionamiento del tractor en estudio. Para la fase dos se requerirá un total de 20 días.
- Fase 4: se procederá a utilizar los modelos probabilísticos planteados para determinar los niveles óptimos de inventario de cada repuesto, para ello se utilizará una herramienta de software como Microsoft Excel que facilitará el análisis de datos. Dicha fase requiere de 5 semanas.

9.5. Resultados esperados

Con los resultados del presente diseño de investigación se pretende definir un sistema de gestión de inventarios que se adapte a las necesidades del taller con base en el comportamiento de las fallas de los tractores en estudio. Dicho sistema pretende mejorar la administración del inventario disminuyendo los costos que esto conlleva.

Definiendo el sistema de gestión se pretende obtener el reporte final de investigación con base en las directrices establecidas por la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

9.6. Población y muestra

La población y muestra para el presente análisis se tomará según los consumos realizados en el inventario del taller desde el año 2015 a la fecha, la población está compuesta por todos los repuestos que utiliza el tractor 5725, de dicha población se tomarán los repuestos críticos y de baja rotación que se analizarán en la fase 2.

En la tabla IV se describen las fases y las herramientas utilizadas en cada una de ellas.

Tabla V. **Metodología y herramientas**

Núm.	Descripción	Herramientas
1	Recopilación y organización de información	Registro histórico de sistema de inventarios
		Listas de chequeo
2	Análisis ABC y determinación de la criticidad de cada repuesto	80/20 o diagrama de Pareto, análisis de criticidad de repuestos
3	Aplicación de los modelos probabilísticos	Modelo Weibull
		Modelo Poisson
4	Análisis de resultados	Comparación entre modelos probabilísticos

Fuente: elaboración propia.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

En el proceso de la investigación se analizarán datos recibidos de fuentes primarias y secundarias, datos como registros históricos de consumo recolectados del 2015 al 2018 por medio del ERP de la empresa.

Adicional a la información recolectada por medio del ERP, se recolectará información por medio de una encuesta o preguntas que se les realizará a los mecánicos del taller, para determinar las fallas comunes y repuestos críticos que utilizan los tractores en estudio. Dicha encuesta deberá ser realizada a todos los mecánicos y usuarios del área del taller de tractores.

Se utilizarán diagramas de Pareto para analizar los datos recolectados y con base en ello definir los repuestos críticos.

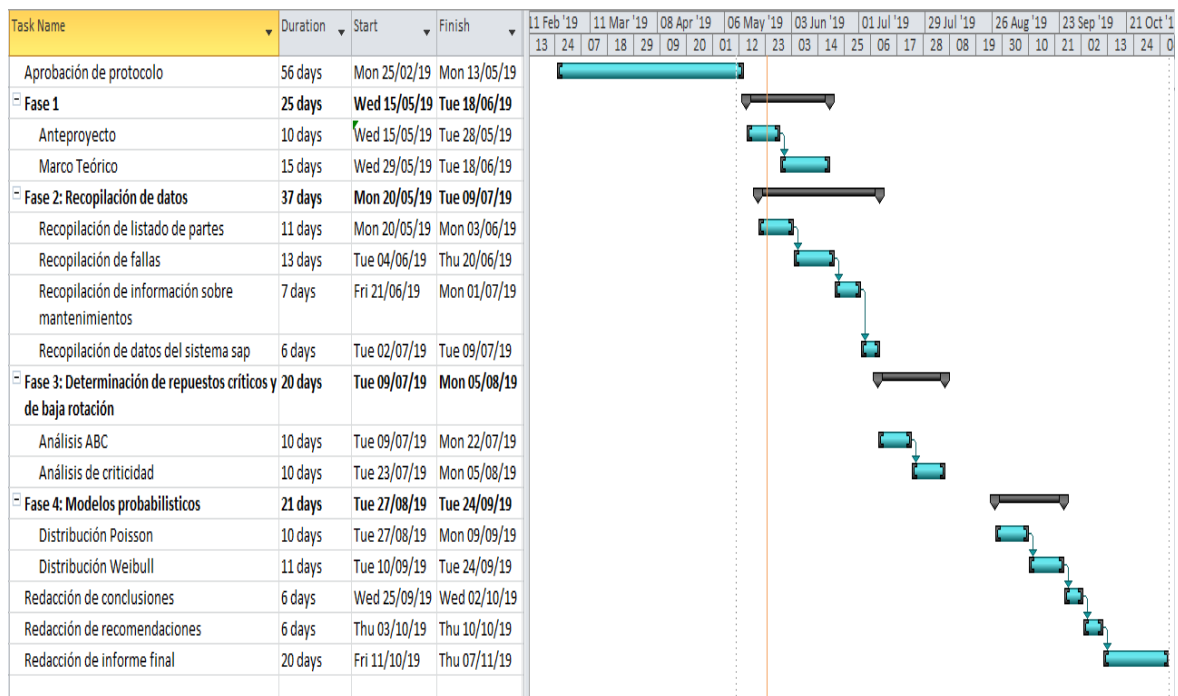
Se realizarán análisis con técnicas de estadística descriptiva e inferencial en los datos recolectados mediante el ERP y las encuestas realizadas a los mecánicos y operadores de los tractores, dichas técnicas son importantes para definir los niveles óptimos del inventario.

Se tomará en cuenta la participación de los mecánicos en la discusión de dichos resultados, con el propósito de validar la información y generar un valor agregado al análisis de los datos recolectados.

11. CRONOGRAMA

En la siguiente figura se indican las fases del proyecto y el tiempo que llevará la realización de cada una de ellas.

Figura 14. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente estudio se considera factible debido al apoyo brindado por el ingenio y los recursos puestos a disposición. A continuación se describen los recursos utilizados en la realización del presente estudio.

- Recursos humanos

El recurso humano necesario para la realización del estudio, específicamente en la fase de recolección de datos, son los mecánicos del taller y personal de almacenes, apoyados por sus distintos supervisores que son profesionales capacitados y con amplios conocimientos en tractores JD572, con el fin de poder brindarle a la investigación datos y estadísticas relevantes de la vida de los tractores y repuestos utilizados en las reparaciones.

No se tiene ninguna limitación que prohíba al personal brindar la información solicitada.

- Recursos financieros

Dentro de los recursos financieros utilizados para la realización del presente estudio se debe tomar en cuenta el tiempo que los mecánicos y personal de almacenes tomarán para proporcionar la información requerida, la asesoría profesional en la investigación proporcionada por personal gerencial y el asesor del presente estudio.

- Acceso a la información

El acceso a la información es factible, se cuenta con los permisos y accesos necesarios a las áreas del taller y de bodega, al igual que accesos a los sistemas de manejo de inventarios para la descarga de datos históricos.

- Materiales

Se utilizarán insumos de oficina para tomar notas de datos observados, apuntes necesarios, estadísticas y respuestas generadas en las encuestas, así como equipo de cómputo para la elaboración de informes necesarios dentro de la investigación.

El recurso financiero para la realización de la presente investigación será aportado por el investigador. A continuación se presenta el detalle del presupuesto para la elaboración del presente estudio.

Tabla VI. **Recursos a utilizar**

RECURSOS A UTILIZAR	DESCRIPCION	COSTO
Insumos para impresión del documento	Papel bond y cartuchos de tinta.	Q500
Apoyo de Mecánicos y personal de almacenes	Tiempo utilizado para brindar apoyo en la investigación.	Q2,000
Asesoría profesional	Asesoría profesional en la investigación	Q2,000
Otros insumos	Equipo de oficina, papelería, etc.	Q500
Total		Q5,000

Fuente: elaboración propia.

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arnal, P. & Laguna, A. (2000). *Tractores y motores agrícolas*. España: Grafo, S.A.
2. Bonilla, A. (2017). *Aplicación de la teoría de inventarios para la reducción de costos a través de los suministros de producción*. Tesis de licenciatura. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
3. Canavos, G. (1988). *Probabilidad y estadística, aplicaciones y métodos*. México: McGraw-Hill.
4. Castillo, K. (2005). *Propuesta para política de inventarios para productos "A" de la empresa REFA Mexicana S.A. de C.V.* colección de tesis digitales. Escuela de Ingeniería. Universidad de las Américas Puebla. México.
5. Fundación Iberoamericana de Altos Estudios Profesionales (2014). *Control y manejo de inventario y almacén*. Recuperado de: <http://fiaep.org/inventario/controlymanejodeinventarios.pdf>
6. Duffua, S.; Raouf, A. & Dixon, J. (2000). *Sistemas de mantenimiento, planeación y control*. México: Limusa Wiley.

7. Staff Técnico ABB. (2005). *Estudio de criticidad de equipos*. Recuperado de: [http://grupovirtus.org/moodle/pluginfile.php/ 5194/mod_resource/content/1/Documentos/Sesion-1-Analisis_de_criticidad_de_equipos_E.pdf](http://grupovirtus.org/moodle/pluginfile.php/5194/mod_resource/content/1/Documentos/Sesion-1-Analisis_de_criticidad_de_equipos_E.pdf)
8. Fucci, T. (1999). *El gráfico ABC como técnica de gestión de inventarios*. (Artículo científico). Universidad Nacional de Luján UNLU, Argentina.
9. Guía SCO. (2012). *Metodología de análisis de criticidad (AC). Guía de aprendizaje, aprendizaje sin fronteras*. Recuperado de: http://aprendizajevirtual.pemex.com/nuevo/guias_pdf/Guia_SCO_Analisis_Criticidad.pdf
10. Herrera, A. (2012). *Aplicación de modelos estadísticos al pronóstico de la demanda de repuestos estratégicos en el sector de producción de energía eléctrica*. (Tesis de licenciatura). Universidad de Sevilla. España.
11. Lizarazo, J. & Pérez, E. (2017). *Aplicación de teorías de inventarios: modelo de suministro de medicamentos para “la caja de previsión de la Universidad de Cartagena”*. (Tesis de licenciatura). Universidad de Cartagena. Colombia.
12. Marín, R. (2014). *Almacén de clase mundial, el camino a la rentabilidad en el manejo de almacenes y centros de distribución*. Colombia: Centro Editorial Esumer.

13. Molina, F. (2008). *Motores y máquinas agrícolas*. (Tesis de licenciatura). Universidad de Almería. Escuela Superior de Ingeniería. España.
14. Morales, G. (2012). *Estadística y probabilidades*. Recuperado de: <http://www.x.edu.uy/inet/EstadisticayProbabilidad.pdf>
15. Muller, M. (2005). *Fundamentos de administración de inventarios*. México: Editorial Norma.
16. Nolberto, V. & Ponce, M. (2008). *Estadística inferencial aplicada, textos de la Maestría en Educación*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Perú.
17. Orrego, J. (2016). *Análisis de criticidad*. Recuperado de: http://grupovirtus.org/moodle/pluginfile.php/5197/mod_resource/content/1/Documentos/Analisis-de-criticidad.pdf
18. Pineda, W. (2014). *Administración de inventarios de partes y suministros, en el sector de empresas de equipos de impresión digital en Guatemala, con base en el sistema ABC*. (Tesis de Maestría en Administración Financiera). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
19. Ramírez, S. (2014). *Análisis de datos de falla*. (Tesis de maestría). Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

20. Reyes, M. (2017). *Implementación de un sistema de administración y manejo de inventarios en la bodega de materia prima de una empresa productora de agroquímicos, mediante un sistema abc.* (Tesis de maestría en gestión industrial). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
21. Reyes, P. (2009). *Administración de inventarios en almacenes.* Recuperado de: www.icicm.com/files/ADMON_INVENT_ALM.doc
22. Ruiz, D. (2005). *Manual de estadística.* Universidad Pablo de Olavide. Recuperado de: <http://www.eumed.net/cursecon/libreria/drm/drm-estad.pdf>
23. Romero, P. (2013). *Análisis de criticidad y estudio RCM del equipo de máxima criticidad de una planta desmotadora de algodón.* (Tesis de licenciatura). Escuela de Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla. España.
24. Vidal, C. (2010). *Fundamentos de control y gestión de inventarios.* Colombia: Editorial Universidad del Valle.
25. Walpole, R.; Myers, R. & Myers, S. (1999). *Probabilidad y estadística para ingenieros.* México: Prentice-Hall.
26. Zamudio, J. (2009). *Maquinaria agrícola.* (Documento académico). Instituto Universitario de Tecnología del Estado de Barinas. Venezuela.