

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS

E.A.P. DE INVESTIGACIÓN OPERATIVA

**“Mejora del Tiempo de Operatividad de Camiones
Volquetes en Proyectos de Mantenimiento Vial,
utilizando Teoría de Confiabilidad en un Sistema
Simulado”**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Licenciada en
Investigación Operativa

AUTOR

Norka Carla Calderón Quesada

ASESOR

Lucy Haydeé De la Cruz Cuadros

Lima – Perú

2014

**MEJORA DEL TIEMPO DE OPERATIVIDAD DE CAMIONES
VOLQUETES EN PROYECTOS DE MANTENIMIENTO VIAL,
UTILIZANDO TEORÍA DE CONFIABILIDAD
EN UN SISTEMA SIMULADO**

Br. Norka Carla, Calderón Quesada

Tesis presentada a consideración del cuerpo Docente de la Escuela Académico Profesional de Investigación Operativa de la Facultad de Ciencias Matemáticas, de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, como parte de los requisitos para optar el título de Licenciada en Investigación Operativa.

Aprobado por:

Mg. Esther Berger Vidal
Presidenta

Lic. Carlos Ortega Muñoz
Miembro

Lic. Lucy Haydeé De la Cruz Cuadros
Miembro Asesor

Lima- Perú
Julio - 2014

FICHA CATALOGRÁFICA

CALDERÓN QUESADA, NORKA CARLA

Mejora del Tiempo de Operatividad de Camiones Volquetes en Proyectos de Mantenimiento Vial, utilizando Teoría de Confiabilidad en un Sistema Simulado, (Lima), 2014.

xiv, 150 p., 29.7 cm, (UNMSM, Licenciada en Investigación Operativa, 2014).

Tesis, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Matemáticas, Investigación Operativa.

i. UNMSM/FdeCM ii. Título (Serie).

DEDICATORIA

A mis padres; Pedro y Carmen, ya que siempre encontré en ellos una gran muestra de amor, apoyo y confianza, gracias a estos maravillosos seres que supieron infundir facultades de responsabilidad, respeto y trabajo, empleando el mejor método de enseñanza como el ejemplo.

A mis hermanos; Alberto, Santiago, Milka, Paula, Pedro y Kathy por el tiempo en familia.

A mis sobrinos, para que se tracen metas y se esfuercen por alcanzarlas, en especial a mi sobrina Alexa que fue la que motivó la realización de esta Tesis.

AGRADECIMIENTOS

A mí querida Escuela de Investigación Operativa.

Por haberme acogido dentro de sus aulas en las cuales guardo bellos recuerdos.

A la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Que fue mi segundo hogar, y a mis profesores, quienes compartieron su pasión por la ciencia desinteresadamente en el transcurso de mi formación profesional.

A Dios.

Por guiar mis pasos y bendecirme con la hermosa familia que me ha dado.

RESUMEN**MEJORA DEL TIEMPO DE OPERATIVIDAD DE CAMIONES
VOLQUETES EN PROYECTOS DE MANTENIMIENTO VIAL,
UTILIZANDO TEORÍA DE CONFIABILIDAD
EN UN SISTEMA SIMULADO**

NORKA CARLA CALDERÓN QUESADA

JULIO – 2014

Asesora : LIC. LUCY HAYDEE, DE LA CRUZ CUADROS
Título obtenido : Licenciada en Investigación Operativa

El objetivo principal de este trabajo es brindar una propuesta de mejora para el tiempo de operatividad de una flota de camiones volquetes mediante la presentación de diferentes escenarios a través de la aplicación de la Teoría de Confiabilidad en un Sistema Simulado.

Para lograr este objetivo se realizó un diagnóstico de la situación actual de los camiones volquetes mediante un estudio de análisis de fallas, con la finalidad de aplicar la teoría de confiabilidad para proponer escenarios alternativos que cumplan con el objetivo de la investigación; mejorar el tiempo de operatividad de la flota.

Se ha probado la hipótesis que si se aplica la teoría de confiabilidad en un sistema simulado de la flota de camiones volquetes, entonces es posible mejorar el tiempo de operatividad de la flota.

La metodología empleada fue no experimental, exploratoria y descriptiva.

Palabras Clave:

- ✓ Confiabilidad
- ✓ Simulación
- ✓ Mantenimiento

ABSTRACT**IMPROVING THE TIME OF OPERATION DUMP TRUCK ROAD
MAINTENANCE PROJECTS, USING THEORY OF RELIABILITY
IN A SIMULATED SYSTEM**

NORKA CARLA CALDERÓN QUESADA

JULY – 2014

Guiding : LIC. LUCY HAYDEE, DE LA CRUZ CUADROS
Obtained degree : Degree in Operations Research

The main objective of this paper is to provide an improvement proposal for the uptime of a fleet of dump trucks by presenting different scenarios through the application of the Theory of Reliability on a simulated system.

To achieve this objective, a diagnosis of the current situation of dump trucks was made by a fault analysis study, in order to apply reliability theory to propose alternative scenarios that meet the objective of the investigation; improve the uptime of the fleet.

Has tested the hypothesis that if the theory of reliability in a simulated fleet of dump trucks system is applied, then it is possible to improve the uptime of the fleet.

The methodology used was not experimental, exploratory and descriptive.

Keywords:

- ✓ Reliability
- ✓ Simulation
- ✓ Maintenance

CONTENIDO

PRESENTACIÓN Y APROBACIÓN.....	II
FICHA CATALOGRÁFICA.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
RESUMEN.....	VI
ABSTRACT.....	VII
TABLA DE CONTENIDO.....	VIII
LISTA DE TABLAS.....	XI
LISTA DE FIGURAS.....	XII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	3
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1. Descripción del problema.....	3
1.2. Planteamiento del problema.....	15
1.3. Formulación del problema.....	17
1.3.1. Formulación del problema general.....	17
1.3.2. Formulación de los problemas específicos.....	17
1.4. Objetivos.....	17
1.4.1. Objetivo general.....	17
1.4.2. Objetivos específicos.....	17
1.5. Formulación de la hipótesis.....	18
1.5.1. Desarrollo de la hipótesis general.....	18
1.5.2. Desarrollo de las hipótesis específicas.....	18
1.6. Definición de variables.....	20
1.6.1. Sinopsis de las variables.....	21
1.7. Justificación.....	22
1.8. Delimitación.....	22

CAPÍTULO II	24
MARCO TEÓRICO.....	24
2.1. Importancia de la investigación.....	24
2.2. Antecedentes de la investigación.....	25
2.2.1. Antecedentes nacionales	25
2.2.2. Antecedentes internacionales	26
2.3. Bases teóricas	27
2.3.1. Principios de simulación.....	27
2.3.1.1. Sistema.....	27
2.3.1.2. Simulación	32
2.3.1.3. Software ARENA®.....	40
2.3.2. Principios de mantenimiento.....	43
2.3.2.1. Mantenimiento.....	43
2.3.2.2. Índices de mantenimiento.....	44
2.3.2.3. Tipos de mantenimiento	48
2.3.2.4. Fallas y fallas funcionales	49
2.3.3. Principios de Distribución de probabilidad	49
2.3.4. La empresa	54
2.3.5.1. Módulo de mantenimiento de planta – ERP SAP.....	59
CAPÍTULO III	65
METODOLOGÍA.....	65
3.1. Introducción.....	65
3.2. Características de la Investigación.....	66
3.2.1. Enfoque de investigación	66
3.2.2. Tipo de investigación	67
3.2.3. Diseño de la investigación.....	67
3.2.4. Método de investigación	68
3.3. Población de la investigación.....	68
3.3.1. Muestra de la investigación	68
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	69
3.5. Procedimiento	70
3.6. Procesamiento de datos.....	73
3.6.1. Estructura de fallas.....	73
3.6.2. Sistema de fallas	78
3.6.3. Datos estadísticos del comportamiento de fallas	78
3.6.4. Datos estadísticos del proceso y atención en talleres.....	81
3.6.4.1. Proceso de movilización de material	82
3.6.4.2. Atención en talleres	83
3.7. Aplicación de la teoría de confiabilidad.....	89

3.7.1. Análisis de confiabilidad a los componentes	90
3.7.2. Análisis de confiabilidad al sistema camión volquete	95
3.8. El modelo.....	100
3.8.1. Entidades	100
3.8.2. Condición de mantenimiento preventivo	106
3.8.3. Proceso de movilización.....	109
3.8.4. Presentación de fallas	111
3.8.5. Declaración del tiempo de atención en los talleres	111
3.8.6. Declaración del mantenimiento preventivo	116
3.8.7. Estructura del modelo	116
3.8.8. Condiciones de arranque y finalización de la simulación.....	123
3.8.9. Selección del número de réplicas	124
3.8.10. Definición de variables del modelo de simulación	125
3.9. Planteamiento de escenarios	127
3.9.1. Escenario real	127
3.9.2. Escenarios propuestos	128
3.10. Resultados del modelo.....	129
3.10.1. Escenario real.....	129
3.10.2. Escenarios propuestos	130
CAPÍTULO IV	131
RESULTADOS	131
4.1. Resultados de la aplicación del análisis de Pareto de costos.....	131
4.2. Aplicación del análisis de Pareto.....	133
4.3. Aplicación de la teoría de confiabilidad.....	135
4.4. Simulación del sistema	137
CAPÍTULO V.....	143
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	143
5.1. Conclusiones.....	143
5.2. Recomendaciones	146
REFERENCIAS.....	147
ANEXO	149

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	: Horas de operación – 2013	8
Tabla 2	: Monto destinado por tipo de mantenimiento - 2013	8
Tabla 3	: Montos destinados al mantenimiento por tipo de proyecto – 2013	10
Tabla 4	: Gastos destinados al mantenimiento por tipo de equipo – 2013	10
Tabla 5	: Gastos destinados al mantenimiento por tipo de equipo y tipo de mantenimiento – 2013	11
Tabla 6	: Gastos destinados al mantenimiento por ejemplar de equipo – 2013	12
Tabla 7	: Gastos destinados al mantenimiento por equipo y tipo de mantenimiento – 2013	13
Tabla 8	: Sinopsis de las variables independientes	21
Tabla 9	: Sinopsis de la variable dependiente	22
Tabla 10	: Ventajas de la simulación en distintas etapas de un proyecto	32
Tabla 11	: Métodos estadísticos para el cálculo de la confiabilidad	44
Tabla 12	: Características de los camiones volquetes	68
Tabla 13	: Ranking de componentes de camión volquete con mayor frecuencia de fallas	74
Tabla 14	: Histograma de Frecuencia Tiempo de Mantenimiento	76
Tabla 15	: Estructura de Fallas del Camión Volquete	78
Tabla 16	: Resumen de Distribuciones de Probabilidad	78
Tabla 17	: Resumen de distribuciones de probabilidad de tiempos de atención	82
Tabla 18	: Tipo de atención por componente afectado	111
Tabla 19	: Resumen de Distribuciones de Probabilidad	128
Tabla 20	: Tiempo promedio de espera en talleres obtenidos por la simulación del escenario real	129
Tabla 21	: Tabla de Resultados obtenidos por la Simulación en diferentes escenarios	130
Tabla 22	: Tiempos en talleres según las nuevas frecuencias de mantenimiento	137
Tabla 23	: Tiempos en colas de talleres obtenidos por la Simulación	138
Tabla 24	: Tabla de Resultados de Tiempos y Montos, obtenidos por la Simulación	139
Tabla 25	: Tiempos promedio en el proceso de movilización vs Margen de ganancia	141

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	: Organigrama de la empresa	4
Figura 2	: Organigrama de la gerencia de equipos	5
Figura 3	: Proceso de extracción y traslado de material	7
Figura 4	: Diagrama de Pareto de costos por tipo de mantenimiento – 2013	9
Figura 5	: Porcentaje de horas destinadas al mantenimiento – 2013	9
Figura 6	: Diagrama de Pareto de gastos destinados al mantenimiento por ejemplar de equipos de producción– 2013	13
Figura 7	: Caja negra del sistema	20
Figura 8	: Elementos de un sistema	28
Figura 9	: Diagrama de flujo del proceso general de simulación	36
Figura 10	: Sistema de la Gestión del Mantenimiento	44
Figura 11	: Distribución de probabilidad del tiempo entre fallas de un equipo	50
Figura 12	: Gestión de mantenimiento en los proyectos de ingeniería	56
Figura 13	: Relación entre la Gerencia de Operaciones y Gerencia de Equipos	57
Figura 14	: ¿Cómo se hace?	58
Figura 15	: Aplicación de la teoría de confiabilidad en la flota de camiones volquetes	71
Figura 16	: Simulación de la flota de camiones volquetes	72
Figura 17	: Figura de Pareto de cantidad de fallas por tipo de fallas	73
Figura 18	: Figura de Pareto tiempo de demoras por tipo de fallas	74
Figura 19	: Histograma de Frecuencia Tiempo de Demoras de Mantenimiento Correctivo	75
Figura 20	: Histograma de Frecuencia Tiempo de Demoras de Mantenimiento	76
Figura 21	: Disponibilidad Mecánica Operativa vs Meta	77
Figura 22	: Distribución de tiempos de falla del componente bastidor	79
Figura 23	: Distribución de tiempos de falla del componente sistema dirección y frenado	79
Figura 24	: Distribución de tiempos de falla del componente subsistema eléctrico y de arranque	80
Figura 25	: Distribución de tiempos de falla del componente motor básico	80
Figura 26	: Distribución de tiempos de falla del componente tolva	81
Figura 27	: Distribución del tiempo de duración en el proceso de movilización de material	82
Figura 28	: Distribución del tiempo de duración en el mantenimiento correctivo del componente bastidor realizado en el taller mecánico	83

Figura 29	: Distribución del tiempo de duración en el mantenimiento correctivo del componente sistema de dirección y frenado realizado en el taller mecánico	84
Figura 30	: Distribución del tiempo de duración en el mantenimiento correctivo del componente motor básico realizado en el taller mecánico	84
Figura 31	: Distribución del tiempo de duración en el mantenimiento preventivo del camión volquete realizado en el taller mecánico	85
Figura 32	: Distribución del tiempo de duración en el mantenimiento correctivo del componente subsistema eléctrico y arranque realizado en el taller eléctrico	86
Figura 33	: Distribución del tiempo de duración en el mantenimiento preventivo del camión volquete realizado en el taller eléctrico	86
Figura 34	: Distribución del tiempo de duración en el mantenimiento correctivo del componente bastidor realizado en el taller de soldadura	87
Figura 35	: Distribución del tiempo de duración en el mantenimiento correctivo del componente tolva realizado en el taller de soldadura	88
Figura 36	: Distribución del tiempo de duración en el mantenimiento preventivo del camión volquete realizado en el taller de soldadura	88
Figura 37	: Gráfica del comportamiento de la tasa de fallas vs la confiabilidad del sistema	97
Figura 38	: Declaración de la Entidad falla tipo 1	100
Figura 39	: Declaración del atributo “falla tipo 1”	101
Figura 40	: Declaración de la Entidad “falla tipo 2”	101
Figura 41	: Declaración del atributo “falla tipo 2”	102
Figura 42	: Declaración de la Entidad “falla tipo 3”	102
Figura 43	: Declaración del atributo “falla tipo 3”	103
Figura 44	: Declaración de la Entidad “falla tipo 4”	103
Figura 45	: Declaración del atributo “falla tipo 4”	104
Figura 46	: Declaración de la Entidad “falla tipo 5”	104
Figura 47	: Declaración del atributo “falla tipo 5”	105
Figura 48	: Declaración de la Entidad evento operativo	105
Figura 49	: Declaración de las entidades con sus respectivos atributos	106
Figura 50	: Declaración del Atributo “TNOW”	107
Figura 51	: Declaración para el módulo de condición	107
Figura 52	: Declaración para la expresión del módulo de condición	108
Figura 53	: Representación del diagrama de flujo parte I	109
Figura 54	: Declaración del módulo proceso	110
Figura 55	: Representación del diagrama de flujo parte II	110
Figura 56	: Declaración de las distribuciones del servicio del taller mecánico	111
Figura 57	: Declaración del arreglo de distribuciones del servicio del taller mecánico	112
Figura 58	: Declaración del módulo proceso de atención mecánico	112

Figura 59	: Declaración de las distribuciones del servicio del taller electricista	.....	113
Figura 60	: Declaración del arreglo de distribuciones del servicio del taller electricista	.....	113
Figura 61	: Declaración del módulo proceso de atención electricista	.....	114
Figura 62	: Declaración de las distribuciones del servicio del taller soldador	.....	114
Figura 63	: Declaración del arreglo de distribuciones del servicio del taller soldador	.....	115
Figura 64	: Declaración del módulo proceso de atención soldador	.....	115
Figura 65	: Representación del diagrama de flujo del modelo completo	.....	117
Figura 66	: Representación del diagrama de flujo del modelo: creación de entidades	.....	118
Figura 67	: Representación del diagrama de flujo del modelo: condición mantenimiento preventivo	.....	119
Figura 68	: Representación del diagrama de flujo del modelo: ocurrencia de fallas	.....	120
Figura 69	: Representación del diagrama de flujo del modelo: proceso de movilización a los respectivos talleres	.....	121
Figura 70	: Representación del diagrama de flujo del modelo: atención por fallas en los respectivos talleres	.....	122
Figura 71	: Declaración del número de réplicas y parámetros del Modelo de Simulación	.....	123
Figura 72	: Representación del término de la simulación	.....	124
Figura 73	: Pareto de Costos por Tipo de Equipo – 2013	.....	132
Figura 74	: Aplicación de la T. Confiabilidad en los componentes críticos	.....	135
Figura 75	: Resultados de Tiempos y Montos, obtenidos por la Simulación	.....	140
Figura 76	: Ranking de escenarios de acuerdo al tiempo promedio de operatividad	.....	142

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las organizaciones están implementando nuevas técnicas operacionales con el objetivo principal de optimizar los procesos en la gestión del mantenimiento, con el fin de satisfacer al cliente, las empresas se han visto en la obligación de ofrecer garantías, es decir, de comprometerse con el cliente por un período determinado a reparar o sustituir de manera total o parcial los productos que presenten defectos operacionales o de construcción.

Aun cuando este compromiso representa tranquilidad para el consumidor, el hecho de no poder disponer del producto durante un período de reparación o sustitución, o que éste se averíe con mucha frecuencia; representa un motivo de insatisfacción, el cual se traduce como una pérdida de prestigio para la empresa.

De igual manera, en aquellos casos en que el producto o servicio es utilizado en lugares remotos o en condiciones muy críticas, la garantía pasa a un segundo plano y el interés principal del cliente recae en que el producto no falle, el cuál es el caso de la empresa constructora en la que se ha desarrollado este estudio, con el fin de poseer equipos que estén disponibles para llevar a cabo las actividades de extracción y movimiento de material.

El contenido de esta investigación se encuentra dividido en cinco capítulos, los cuales se describen a continuación:

El Capítulo I, contiene el planteamiento del problema de la investigación el cual conllevó a establecer el objetivo general y los específicos e hipótesis general y las específicas. También la justificación y delimitación del mismo. Todos ellos han sido la base para llevar a cabo esta investigación.

El Capítulo II, presenta una descripción general de la empresa que hizo posible la realización de esta investigación, así como los elementos conceptuales que comprende la investigación, y la descripción del software de Planeamiento de los Recursos Empresariales (ERP por sus siglas en inglés) utilizado para el

levantamiento de información. Así también se encuentra el marco teórico y las referencias en las que se fundamenta el estudio.

El Capítulo III, contiene la metodología utilizada en la investigación, el tipo de investigación, la población, la muestra, el procesamiento de datos, la aplicación de las metodologías propuestas; la aplicación de la Teoría de confiabilidad y Simulación de sistemas, en este capítulo se proponen los escenarios a simular, en base al cálculo de la Teoría de confiabilidad y al análisis de sensibilidad.

En el Capítulo IV, se interpretan los resultados obtenidos durante la investigación, y se verifican las hipótesis definidas en el capítulo I.

Finalmente en el Capítulo V, se dan las conclusiones y recomendaciones relacionadas con los objetivos que se plantearon para justificar y estimar la importancia del estudio.

Al finalizar se dan las referencias bibliográficas.

Para estructurar el trabajo se siguieron los lineamientos establecidos en “La Tesis Universitaria” el Manual para la elaboración de Trabajos de Grado; por Raúl Tafur Portilla, Lima (2000).

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

La empresa que sirve como modelo para el desarrollo del presente trabajo de investigación es una empresa establecida en la industria de la construcción del Perú, brinda servicios de ingeniería, construcción y mantenimiento vial, durante su trayectoria ha consolidado su desarrollo, ejecutando obras en diversas especialidades de la ingeniería civil ganando prestigio de empresa seria y responsable, cuidadosa de cumplir con plazos, costos, estándares de calidad y seguridad que muchas veces superan las expectativas de sus clientes.

Cuenta con la certificación ISO 9001 versión 2008, lo que asegura la calidad de los servicios que brinda, ISO 14001 y OSHAS 18001, dichos servicios son los de:

- Habilitaciones urbanas
- Puentes y viaductos
- Intercambios viales
- Vías urbanas
- Obras de saneamiento
- Autopistas, carreteras, aeropuertos
- Obras marítimas y portuarias
- Restauraciones

- Obras hidráulicas
- Minería
- Edificaciones

Debido al acelerado crecimiento que ha tenido la empresa en los últimos 4 años, causado por el emprendimiento del sector construcción en el Perú, la gestión de compra de activos para responder a la demanda de operaciones, fue impulsada por la Gerencia de Equipos.

Desde entonces la gerencia de equipos se encarga de la planificación y mantenimiento de la flota de equipos; de producción (equipos que realizan la extracción de tierra), vehiculares (equipos que realizan el traslado de tierra) y auxiliares (equipos livianos que realizan el mantenimiento); en los proyectos en donde la empresa realiza sus operaciones.

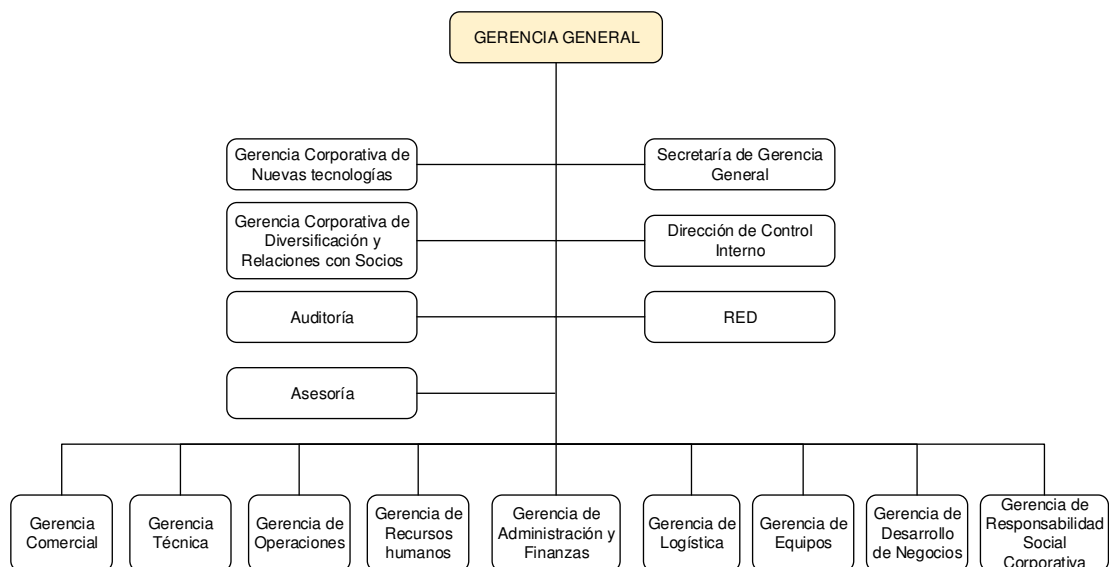


Figura 1. Organigrama de la empresa.

Fuente: Intranet de la empresa en estudio.

La gerencia de equipos, es responsable de la coordinación y el seguimiento de las operaciones, diseño y supervisión de la distribución de los equipos de producción y vehiculares de movimiento de tierra, a nivel nacional, cuidando de forma directa la producción y logística, así como la calidad y el servicio al cliente interno; los proyectos de ingeniería a cargo de la gerencia de operaciones.

Dentro de la gerencia de equipos se encuentra el área de mantenimiento, encargada de asegurar el cumplimiento de la política de mantenimiento a los equipos de producción y vehiculares en los proyectos de ingeniería (Construcción vial, mantenimiento de carreteras, construcción y edificaciones).

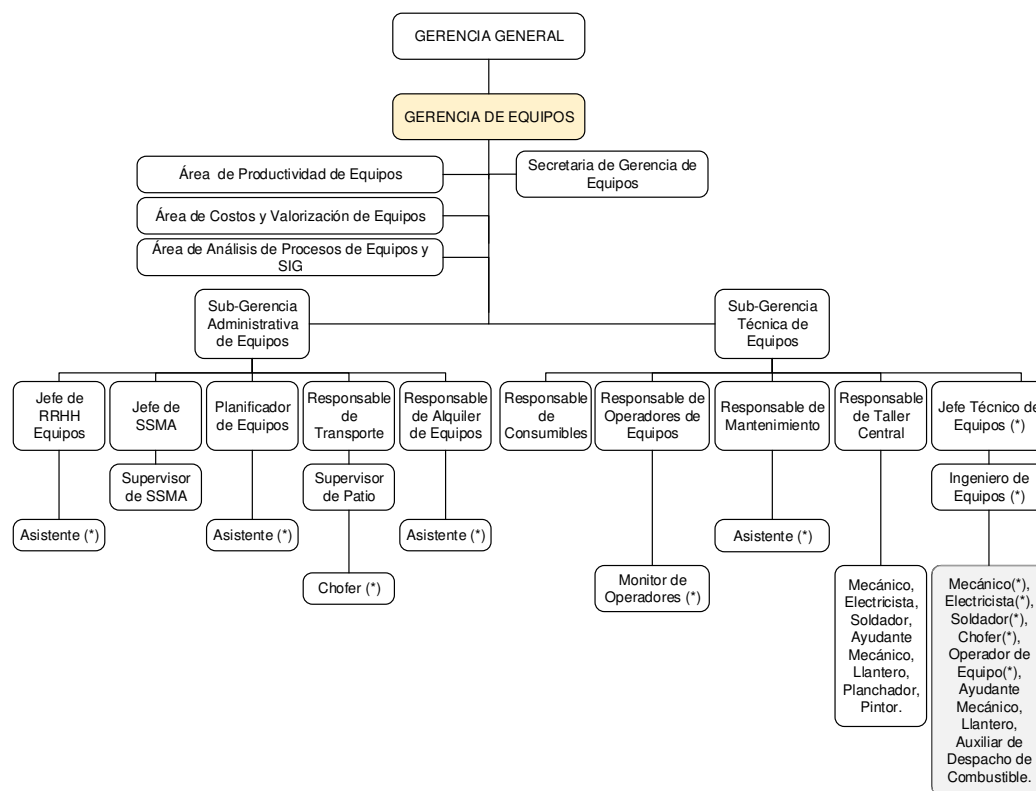


Figura 2. Organigrama de la gerencia de equipos

Fuente: Intranet de la empresa en estudio.

Nota: Los puestos que tienen (*) son ocupados por más de un colaborador

Dicha política de mantenimiento comprende:

- 1.- Aplicar un programa de mantenimiento preventivo que impulse y haga posible la mejora continua en el proceso de operaciones de los proyectos de construcción vial, mantenimiento de carreteras y edificaciones.
- 2.- Desarrollar el potencial de sus colaboradores, manteniendo en práctica el “trabajo en equipo” así como la integración con sus proveedores.
- 3.- Desarrollar una nueva planificación de equipos que fortalezca el progreso de la empresa y genere beneficios para sus clientes, colaboradores, accionistas y sociedad.

El staff con el que cuenta el ingeniero de equipos en los proyectos de ingeniería, está compuesto por; personal que realiza el mantenimiento (mecánicos, electricistas, soldadores y llaneros), personal que realiza la operación (operadores de equipos), personal que brinda soporte (auxiliar de despacho de combustible y choferes).

Este staff tiene como función principal atender las solicitudes del ingeniero de equipos en los proyectos para la óptima gestión de los equipos de producción y vehiculares en el frente de trabajo.

Los proyectos de ingeniería en los cuales se especializa la empresa en estudio se clasifican en:

- Proyectos de mantenimiento vial
- Proyectos de construcción de carreteras
- Proyectos de minería
- Proyectos de edificaciones

Dependiendo de la envergadura del proyecto, este tiene un tiempo de ejecución de operaciones; de entre 3 a 5 años. En promedio, anualmente la empresa realiza 23 proyectos simultáneamente.

En la actualidad los proyectos más resaltantes son:

- Carretera Satipo (468 km)
- Carretera Huancayo – Ayacucho (430 km)
- Carretera Red Vial N°2 Cusco (319 km)
- Construcción de la Carretera Satipo – Puerto Ocopa (65.82 km)
- Construcción de la Carretera Encañada Micuypampa (26 km)
- Construcción de Carretera Quitaracsa – Sharpingo (16.7 km)
- Hospital Regional de Alta Complejidad de La Libertad (34,382.89 m2)

En los cuales la gerencia de equipos es responsable de los procesos principales:

-Extracción de material; en donde el cargador frontal realiza los trabajos de corte de material integral y carguío hacia los camiones volquetes.

-Traslado de material; en donde el camión volquete realiza el transporte del material hacia la zaranda o hacia el equipo de chancado.

A continuación el figura 3 representa el flujo del proceso de extracción y traslado de material.



Figura 3. Proceso de extracción y traslado de material

Fuente: Manual del ingeniero de equipos de la empresa en estudio

Las operaciones transcurren durante el año; demostrando un comportamiento elevado en las horas de operación; en los meses de junio, julio, agosto y septiembre.

Este comportamiento en determinados meses es producto de las condiciones favorables en el clima de provincias en donde la empresa realiza sus operaciones.

A continuación la Tabla 1 muestra las horas de operación laboradas según el tipo de equipo durante el año 2013.

Tabla 1
Horas de operación – 2013

2013												
Tipo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sep	Oct	Nov	Dic
Producción	1,747,935	1,757,859	1,640,234	1,753,588	1,922,893	2,005,717	1,985,133	2,149,785	2,270,108	2,084,115	1,747,993	1,753,759
Vehicular	230,775	232,086	216,556	231,522	253,875	264,810	262,092	283,831	299,717	275,160	230,783	231,544
Auxiliar	558,182	561,351	523,789	559,987	614,053	640,502	633,928	686,508	724,932	665,537	558,201	560,042
Total	2,536,892	2,551,295	2,380,579	2,545,097	2,790,820	2,911,028	2,881,153	3,120,124	3,294,756	3,024,813	2,536,976	2,545,345

Fuente: Módulo de mantenimiento de planta del ERP SAP de la empresa en estudio

A continuación la Tabla 2 muestra el monto destinado al tipo de mantenimiento durante el año 2013.

Tabla 2
Monto destinado por tipo de mantenimiento - 2013

Tipo	2013
Correctivo	\$ 5,060,627
Preventivo	\$ 4,161,905
Overhaul	\$ 221,184
Predictivo	\$ 32,957
Total	\$ 9,476,673

Fuente: Módulo de mantenimiento de planta del ERP SAP de la empresa en estudio

Como se aprecia en la Tabla 2 el monto más elevado es el que acarrea el mantenimiento correctivo.

A continuación la Figura 4 muestra el diagrama de Pareto de costos por tipo de mantenimiento durante el año 2013:

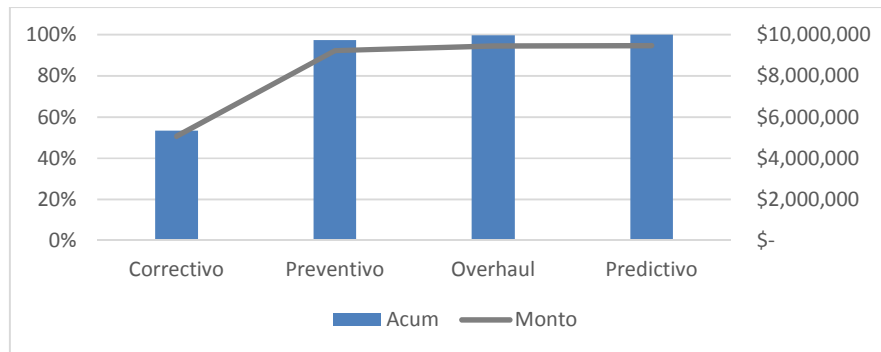


Figura 4. Diagrama de Pareto de costos por tipo de mantenimiento – 2013

Fuente: Módulo de mantenimiento de planta del ERP SAP de la empresa en estudio

La Figura 4 refleja que el 97% de los costos son destinados al mantenimiento correctivo y preventivo.

Además:

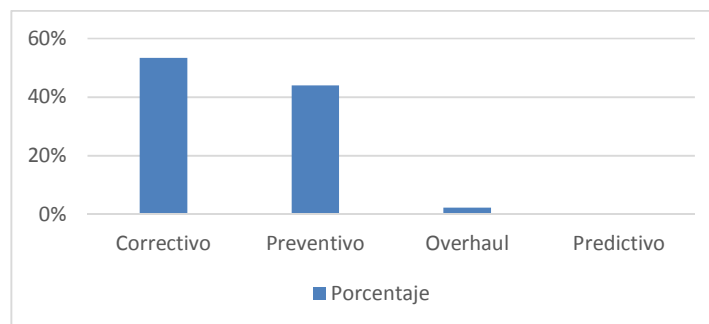


Figura 5. Porcentaje de horas destinadas al mantenimiento – 2013

Fuente: Módulo de mantenimiento de planta del ERP SAP de la empresa en estudio

La Figura 5 indica que las horas destinadas al mantenimiento correctivo (máquina parada por falla) se aproximan a las horas planificadas para el mantenimiento preventivo, con una diferencia del 10%.

A continuación la Tabla 3 refleja los montos destinados al mantenimiento por tipo de proyecto.

Tabla 3
Montos destinados al mantenimiento por tipo de proyecto – 2013

Proyecto	2013
Construcción de Carreteras	\$ 2,210,429
Edificaciones	\$ 175,214
Mantenimiento de Obras	\$ 7,091,040
Total	\$ 9,476,675

Fuente: Módulo de mantenimiento de planta del ERP SAP de la empresa en estudio

De acuerdo a la Tabla 3 los proyectos de mantenimiento de obras son los que requieren un mayor gasto.

A continuación la Tabla 4 refleja los montos destinados al mantenimiento por tipo de equipo.

Tabla 4
Gastos destinados al Mantenimiento por Tipo de Equipo – 2013

Tipo de Equipo	2013
Producción	\$ 8,214,227
Vehicular	\$ 1,155,794
Auxiliar	\$ 106,653
Total	\$ 9,476,675

Fuente: Módulo de mantenimiento de planta del ERP SAP de la empresa en estudio

La Tabla 4 refleja que la mayor suma invertida en mantenimiento durante el año 2013, fue destinada a los equipos de producción.

A continuación la Tabla 5 refleja los gastos destinados al mantenimiento por tipo de equipo y tipo de mantenimiento durante el año 2013.

Tabla 5
*Gastos destinados al mantenimiento por tipo de equipo y
tipo de mantenimiento – 2013*

Tipo de Equipo	Correctivo	Preventivo	Overhaul	Predictivo
Producción	\$ 4,363,377	\$ 3,597,601	\$ 221,184	\$ 32,064
Vehicular	\$ 642,818	\$ 512,383		\$ 593
Auxiliar	\$ 54,432	\$ 51,921		\$ 300
Total	\$ 5,060,627	\$ 4,161,905	\$ 221,184	\$ 32,957

Fuente: Módulo de mantenimiento de planta del ERP SAP de la empresa en estudio

La Tabla 5 refleja que la mayor suma destinada al mantenimiento se encuentra en el mantenimiento correctivo, específicamente en el mantenimiento correctivo de los equipos de Producción.

A continuación la Tabla 6 muestra los gastos destinados al mantenimiento de equipos de producción según ejemplar.

Tabla 6
Gastos destinados al mantenimiento por ejemplar de equipo – 2013

Equipo	Monto Mantenimiento
CAMIÓN VOLQUETE	\$ 3,208,197
CARGADOR FRONTAL	\$ 2,839,795
EXCAVADORA	\$ 536,846
TRACTOR SOBRE ORUGAS	\$ 478,382
RETROEXCAVADORA	\$ 201,394
CHANCADORA SECUNDARIA	\$ 180,450
CISTERNA DE AGUA	\$ 114,651
CAMIÓN LUBRICADOR	\$ 98,050
CISTERNA DE COMBUSTIBLE	\$ 89,525
DISTRIBUIDOR DE SLURRY	\$ 80,238
CHANCADORA PRIMARIA	\$ 73,568
PLANTA DE ASFALTO	\$ 64,388
CAMIÓN REMOLCADOR	\$ 36,456
BOMBA DE CONCRETO	\$ 33,449
CAMIÓN FURGON	\$ 22,515
PAVIMENTADORA DE ASFALTO	\$ 15,261
CAMIÓN PLATAFORMA	\$ 12,001
CAMIÓN (MACROPAVER)	\$ 10,329
CHANCADORA CONJUNTA	\$ 9,605
AUTOHORMIGONERA AUTOCARGABLE	\$ 1,913
CAMIÓN GRÚA	\$ 1,088
CAMION CONCRETERO	\$ 621
OTROS	\$ 105,495
Total	\$ 8,214,227

Fuente: Módulo de mantenimiento de planta del ERP SAP de la empresa en estudio

La Tabla 6 nos muestra que el ejemplar en el cual se incurre el monto más elevado para el mantenimiento es el camión volquete.

A continuación la Figura 6 muestra el diagrama de Pareto sobre gastos destinados al mantenimiento de equipos de producción según ejemplar.

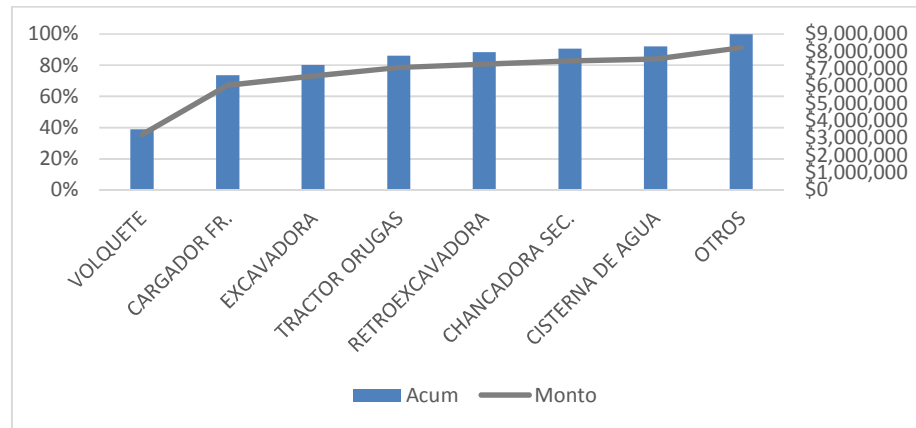


Figura 6. Diagrama de Pareto de gastos destinados al mantenimiento por ejemplar de equipos de producción- 2013

Fuente: Módulo de mantenimiento de planta del ERP SAP de la empresa en estudio

De acuerdo al diagrama de Pareto sobre gastos la Figura 6, observamos que el 80% del total de gastos de mantenimiento se encuentra destinado al mantenimiento de:

- Camiones volquetes
- Cargadores frontales
- Excavadoras

Para analizar los gastos destinados a estos tres ejemplares de acuerdo al tipo de mantenimiento, se presenta la Tabla 7 a continuación.

Tabla 7
Gastos destinados al mantenimiento por equipo y tipo de mantenimiento – 2013

Equipo	Correctivo	Preventivo	Overhaul	Predictivo
CAMIÓN VOLQUETE	\$ 1,877,086	\$ 1,331,111		
CARGADOR FRONTAL	\$ 1,333,058	\$ 1,391,648	\$ 115,088	
EXCAVADORA	\$ 314,104	\$ 210,237		\$ 12,505

Fuente: Módulo de mantenimiento de planta del ERP SAP de la empresa en estudio

La Tabla 7 indica que el gasto más elevado se encuentra en el mantenimiento correctivo de los camiones volquetes.

Concluimos, entonces, que el costo más elevado de la gerencia de equipos se encuentra en el mantenimiento correctivo de los equipos de producción, específicamente en la flota de camiones volquetes.

1.2. Planteamiento del problema

Uno de los problemas más resaltantes de la gerencia de equipos, de acuerdo al histórico de horas de operación (Tabla 1), es la baja eficiencia en el desempeño de las operaciones de los equipos de producción (para movimiento de tierra). Como caso resaltante; el de los camiones volquetes, los cuales presentan una elevada frecuencia de paradas no programadas ocasionadas por fallas, estas producen tiempos inoperativos excesivamente altos que afectan la programación establecida y retrasan la movilización del material a transportar, lo que desemboca en costos de mantenimiento elevados.

Se debe resaltar que los camiones volquetes contemplan ocho horas de operación programadas, las cuales son afectadas por los mantenimientos correctivos.

Estas unidades al no tener acertados programas de mantenimiento presentan una serie de problemas cuyos síntomas se manifiestan a continuación:

- Retraso en la movilización del material a transportar por los volquetes.
- Baja eficiencia de los procesos de distribución de materiales a las diferentes localidades en donde la empresa realiza sus operaciones.

Las causas que se tienen como consecuencia de estos síntomas señalados anteriormente son:

- Excesivos tiempos fuera de servicios de los camiones volquetes.
- Ausencia de stock de repuestos para efectuar reparaciones.
- Carencia de mano de obra calificada para atender mayor cantidad de camiones volquetes.
- Carencia de Análisis del historial de fallas de los camiones volquetes.

Al conocer los síntomas y las causas que ocasiona esta problemática no es difícil predecir los inconvenientes que se producen:

- Molestias de parte del personal operador de las unidades y descontento del cliente interno (proyectos de ingeniería supervisados por la gerencia de operaciones) que esperan por la movilización de los materiales en las operaciones.
- Paralización de equipos.
- La gerencia de equipos no cumple con el porcentaje de disponibilidad mecánica ofrecido a los proyectos.
- Aumenta la cantidad de viajes por días, incumpliendo la programación establecida.
- Incremento de los riesgos físicos de los conductores.
- Disminuyen los ingresos por distribución.

Esto se refleja en el indicador de desempeño estratégico más importante de la gerencia de equipos:

La disponibilidad mecánica operada (DMO)

Es por ello que la propuesta presentada enmarca un estudio de Análisis de Fallas para los camiones volquetes, así como la aplicación de la Teoría de Confiabilidad para proponer diferentes escenarios mediante la simulación del proceso de producción en los frentes de trabajo, enfocado a los tiempos de reparación.

La empresa en estudio cuenta con el Sistema ERP SAP desde los inicios del año 2011, el cual da soporte a los procesos principales y de apoyo de la empresa.

Estos registros del módulo de mantenimiento de planta del ERP SAP servirán como fuente de datos confiables, para el análisis del historial de tiempos de fallas de los camiones volquetes.

Para determinar las fallas a simular, se realizará un análisis de costos basado en el histórico de la DATA durante el año 2013.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Formulación del problema general

¿Cómo mejorar el tiempo de operatividad de la flota de camiones volquetes de un proyecto de mantenimiento vial?

1.3.2. Formulación de los problemas específicos

- a) ¿Cuáles son los costos de mantenimiento de la flota de camiones volquetes?
- b) ¿Cuál es la estructura de fallas de la flota de camiones volquetes?
- c) ¿Cuál es el comportamiento de fallas de la flota de camiones volquetes?
- d) ¿Cómo reducir los tiempos de parada por fallas de la flota de camiones volquetes?
- e) ¿Cuáles son los cuellos de botella en la reparación de camiones volquetes?
- f) ¿Cuál es el personal necesario para disminuir los cuellos de botella en la reparación de camiones volquetes?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar cómo mejorar el tiempo de operatividad de la flota de camiones volquetes de un proyecto de mantenimiento vial.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Determinar los costos de mantenimiento de la flota de camiones volquetes.
- b) Determinar la estructura de fallas de la flota de camiones volquetes.
- c) Analizar el comportamiento de las fallas de la flota de camiones volquetes.
- d) Determinar cómo reducir los tiempos de parada por fallas de la flota de camiones volquetes.

- e) Determinar los cuellos de botella en la reparación de camiones volquetes.
- f) Determinar el personal necesario para disminuir los cuellos de botella en la reparación de camiones volquetes.

1.5. Formulación de la hipótesis

1.5.1. Desarrollo de la hipótesis general

La hipótesis general está declarada de la siguiente manera:

Ho: Si se utiliza la Teoría de Confiabilidad en un sistema simulado, entonces es posible mejorar el tiempo de operatividad de la flota de camiones volquetes de un proyecto de mantenimiento vial.

Cuya hipótesis alternativa es:

H1: No es posible mejorar el tiempo de operatividad de la flota de camiones volquetes de un proyecto de mantenimiento vial, si se utiliza la Teoría de Confiabilidad en un sistema simulado.

1.5.2. Desarrollo de las hipótesis específicas

a) La hipótesis nula n° 1 está declarada de la siguiente manera:

Ho1: Si se aplica el análisis de Pareto de costes, entonces es posible determinar los costos de mantenimiento de la flota.

Cuya hipótesis alternativa es:

H11: No es posible analizar los costos de mantenimiento de la flota de camiones volquetes, si se aplica el análisis de Pareto de costes.

b) La hipótesis nula n° 2 está declarada de la siguiente manera:

Ho2: Si se aplica el análisis de Pareto en la frecuencia de fallas, entonces es posible determinar la estructura de fallas de la flota.

Cuya hipótesis alternativa es:

H12: No es posible determinar la estructura de fallas de la flota, si se aplica el análisis de Pareto en la frecuencia de fallas.

c) La hipótesis nula n° 3 está declarada de la siguiente manera:

Ho3: Si se aplica la Teoría de Confiabilidad en el histórico de fallas, entonces es posible analizar el comportamiento de las fallas de la flota.

Cuya hipótesis alternativa es:

H13: No es posible analizar el comportamiento de las fallas de la flota, si se aplica la Teoría de Confiabilidad en el histórico de fallas.

d) La hipótesis nula n° 4 está declarada de la siguiente manera:

Ho4: Si se aplica la Teoría de Confiabilidad en un sistema simulado, entonces es posible reducir los tiempos de parada por fallas de la flota.

Cuya hipótesis alternativa es:

H14: No es posible reducir los tiempos de parada por fallas de la flota de camiones volquetes utilizando la Teoría de Confiabilidad en un Sistema Simulado.

e) La hipótesis nula n° 5 está declarada de la siguiente manera:

Ho5: Si se utiliza la simulación de sistemas, entonces es posible determinar los cuellos de botella en la reparación de camiones volquetes.

Cuya hipótesis alternativa es:

H15: No es posible reducir los cuellos de botella en la reparación de camiones volquetes, si se utiliza la simulación de sistemas.

f) La hipótesis nula n° 6 está declarada de la siguiente manera:

Ho6: Si se utiliza la simulación de sistemas, entonces es posible determinar el personal necesario para disminuir los cuellos de botella.

Cuya hipótesis alternativa es:

H16: No es posible determinar el personal necesario para disminuir los cuellos de botella en la reparación de camiones volquetes, si se utiliza la simulación de sistemas.

1.6. Definición de variables

Mediante el enfoque de caja negra, el estudio se reduce a:

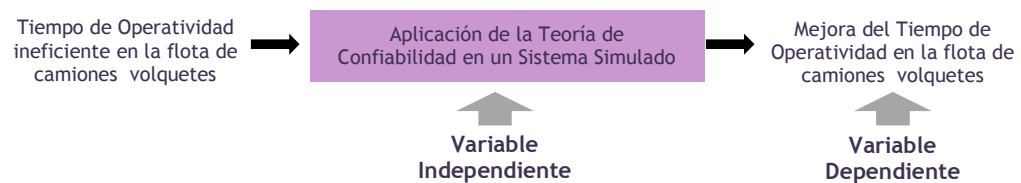


Figura 7. Caja negra del sistema

Fuente: Módulo de mantenimiento de planta del ERP SAP de la empresa en estudio

Formulación:

$$y = f(x)$$

$$\left(\begin{array}{l} \text{Mejora del Tiempo} \\ \text{de Operatividad} \end{array} \right) = f \left(\begin{array}{l} \text{Aplicación de la Teoría de Confiabilidad} \\ \text{en un Sistema Simulado} \end{array} \right)$$

Donde:

La variable independiente es:

x: Aplicación de la Teoría de Confiabilidad en un Sistema Simulado

La variable dependiente es:

y: Mejora del Tiempo de Operatividad de la flota de camiones volquetes

1.6.1. Sinopsis de las variables

Variable independiente:

Tabla 8
Sinopsis de la variable independiente

Variables	Sub-Variable	Dimensión	Indicador	Instrumento
Aplicación de la Teoría de Confiabilidad en un Sistema Simulado	Aplicación de la Teoría de Confiabilidad	Estructura de Fallas	Se obtiene mediante el Análisis realizado a través de las gráficas de Pareto aplicadas a las características de las Fallas; Frecuencia de Fallas, Tiempo invertido en la reparación, etc.	SAP PM-Stat Fit de Minitab - Gráfica de Pareto
		Determinación de la Confiabilidad de los Componentes	Mediante el uso del Input Analyzer del ARENA, se determina la distribución de probabilidad de las Fallas, de ese modo se obtienen los parámetros necesarios para el cálculo de la confiabilidad	Input Analyzer de ARENA - Teoría de Confiabilidad
		Determinación de la Confiabilidad del Equipo y la Tasa de Fallas	Se obtiene la Confiabilidad del camión volquete enfocándolo como el sistema total, compuesto por los componentes críticos, se define la tasa de riesgo ideal (95%-99%) de tal modo que nos permita obtener la frecuencia "t", tal que nos asegure que el equipo no sobrevivirá más que "t" unidades de tiempo.	Teoría de Confiabilidad
	Simulación del Sistema	Definición y características de las variables a simular	Las entidades a simular serán los camiones volquetes, los cuales se rigen por eventos discretos considerados como las intervenciones realizadas en los camiones volquetes (Fallas en los componentes críticos e intervenciones preventivas en componentes operativos), las Distribuciones Estadísticas de estos eventos se obtienen a través del uso del Input Analyzer del ARENA.	Input Analyzer de ARENA
		Estructura del Modelo	Se construye el Flujo del Modelo que representa la realidad de las operaciones realizadas por los camiones volquetes, y la atención que estos reciben en los Talleres Técnicos.	ARENA
		Análisis de Sensibilidad	En el Análisis de Sensibilidad se comparan los diferentes escenarios propuestos por la aplicación de la Teoría de Confiabilidad mediante el nuevo escenario obtenido, de tal modo que: La nueva frecuencia de Mantenimiento Preventivo = t	ARENA

Fuente: Elaboración propia

Variable dependiente:

Tabla 9
Sinopsis de la variable dependiente

Variables	Dimensión	Indicador	Instrumento
Mejora del Tiempo de Operatividad	Tiempo Total en el Proceso de Movilización de Material	Incremento en el Tiempo Total del Proceso de Movilización de Material	Reportes emitidos por la Simulación luego de 14 corridas
Fuente: Elaboración propia.			

Fuente: Elaboración propia

1.7. Justificación

Con este trabajo de Licenciatura se desea contribuir con el área de mantenimiento de la empresa en estudio, mediante la propuesta de mejora enfocada a reducir las intervenciones no programadas y por consiguiente a incrementar el tiempo de operatividad de la flota de camiones volquetes, con lo cual se beneficiará también a la Gerencia de Operaciones, la cual es cliente interno de la Gerencia de Equipos.

La reducción de las intervenciones por falla conlleva a una reducción en los gastos de mantenimiento correctivo y al incremento de ingresos por equipo operativo, lo que se traduce en un mayor margen de ganancia para la empresa en estudio.

1.8. Delimitación

El presente estudio de investigación se realizó a una flota de camiones volquetes que realizan operaciones de transporte de material (tierra) en un proyecto de mantenimiento vial; el cual posee aproximadamente 319 km de extensión; ubicado en el departamento del Cusco - Perú, cuyas operaciones están a cargo de la Gerencia de Operaciones (la cual es representante de los Proyectos de Ingeniería), en conjunto a la Gerencia de Equipos; encargados de la gestión de la maquinaria de producción y vehicular.

El período de análisis contempla el desempeño de dicha flota durante 4 años, los cuales duró el proyecto; toda la flota de camiones volquetes poseen las mismas características, además el registro de las fallas y tiempos empleados en el mantenimiento se encuentran consolidados en el Módulo de Mantenimiento de Planta del ERP SAP, utilizado por la empresa como soporte para la gestión de sus actividades.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Importancia de la investigación

Este estudio de investigación pretende contribuir a la toma de decisiones particularmente realizando comparaciones de propuestas de mejora del proceso basadas en la Teoría de Confiabilidad, como una aportación para llegar a un conocimiento sustentado de aplicar y observar la correspondencia entre situaciones complejas de naturaleza probabilística y escenarios propuestos, con el fin de otorgar flexibilidad como una cualidad de adaptarse más rápidamente a las condiciones cambiantes de los mercados competitivos como lo es el Sector Construcción.

El Sector Construcción es uno de los Sectores con mayor emprendimiento en la economía peruana, esta creció 5,02 % en el 2013, frente a un crecimiento del 5,01% en diciembre del 2013. El Sector Construcción fue favorecido por el mayor consumo interno de cemento en 8.57% y el aumento de la inversión en el avance físico de obras en 9.62%. (INEI, 2013)

El crecimiento del consumo interno de cemento se da por el mayor ritmo de obras de infraestructura vial, obras en unidades del sector construcción, reasentamiento de comunidades del sector construcción, construcción y ampliación de centros comerciales y construcción de hospitales.

El aumento del PBI del sector construcción, el año pasado, fue de 8,9%.(INEI, 2013)

2.2. Antecedentes de la investigación

2.2.1. Antecedentes nacionales

Por medio de las investigaciones realizadas en trabajos de grado y publicaciones existentes sobre el estudio de mantenimiento, se respaldaron los conocimientos previos y se tomaron algunas referencias como inicio del estudio realizado, las cuales se muestran a continuación:

Da Costa, M., (2010) – Pontificia Universidad Católica del Perú; publicó la Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico, "Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción", la cual consistió en evaluar una serie de motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción con el fin de analizar el comportamiento de los tiempos entre fallas y mejorar la confiabilidad operacional.

Collantes, J., (2013) – Colegio de Ingenieros del Perú, Capítulo de Ingeniería Mecánica y Mecánica Eléctrica, CONIMERA 2013; publicó un artículo de investigación titulado "Importancia de la Ingeniería de Confiabilidad en la Estrategia de la Gestión de Activos", el cual consistió en mostrar mediante un caso de estudio en una flota de equipo móvil para una mina subterránea (Perú), la importancia de la Confiabilidad como herramienta estratégica para una Gestión de Activos exitosa en una empresa latinoamericana, permitiendo manejar los resultados de costos, efectividad y productividad a corto, mediano y largo plazo.

Peralta, D., (2009) – Pontificia Universidad Católica del Perú; publicó un artículo de investigación titulado "Sistema de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad Operacional de Perforadoras y Palas Eléctricas Bucyrus, en una mina a tajo abierto", el cual consistió en proponer mejoras basadas en la implementación de un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad operacional de perforadoras y palas eléctricas Bucyrus; cuyo alcance a mediano plazo asegure un cambio profundo en la cultura organizacional de la empresa y el uso de adecuadas y modernas herramientas de gestión.

2.2.2. Antecedentes internacionales

Moreno. G., (2009) - Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui, Venezuela; publicó la Tesis para optar por el Título de Ingeniero Mecánico; “Diseño de un plan de mantenimiento de una flota de tracto-camiones en base a los requerimientos en su contexto operacional”, el cual consistió en elaborar un programa de mantenimiento preventivo para la flota de tracto-camiones mediante la utilización de los manuales del fabricantes, la experiencia del personal, la capacidad operativa y estudiando el comportamiento de estos equipos en empresas similares, reduciendo así la cantidad de paradas no programadas.

Zapata. C., (2009) – Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre, Venezuela, elaboró la Tesis para optar por el título de Ingeniero Industrial; “Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo para los equipos de la planta HyL II en la siderúrgica del Orinoco ‘Alfredo Maneiro’ ”, en el cual se presenta un plan de mantenimiento preventivo para minimizar las fallas y conservar los componentes de los equipos.

Pascual R., (2005) – Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Mecánica, Chile, realizó un trabajo de investigación titulado “El arte de mantener”, el cual presenta tópicos avanzados en la gestión de activos físicos. El mismo se basa en el estado del arte de la industria, tales como el estándar británico PAS-55 y el mantenimiento centrado en la confiabilidad. Se enfoca en profundizar conceptos y competencias relativas a la gestión de los activos físicos, su diseño, operación, mantenimiento y retiro. Se da énfasis a enfoques multidisciplinarios para las tomas de decisiones que serán facilitadas por las metodologías desarrolladas.

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Principios de simulación

2.3.1.1. Sistema

En muchos casos la dificultad del desarrollo de una mejora en un proceso o la solución de un problema está dada en entender cómo funciona el sistema. En el caso de la simulación, esto es un aspecto fundamental, ya que la utilidad del modelo depende así mismo del entendimiento que se tenga del sistema; es importante entender esto debido a que el sistema es un concepto que permite entender los fenómenos que suceden en la realidad y el comportamiento futuro del mismo.

Winston (2005), define el sistema de la siguiente manera:

“Un sistema es una colección de entidades que actúan e interactúan hacia la realización de algún fin lógico.

Sin embargo, en la práctica esta definición por lo general tiende a ser más flexible. La descripción exacta del sistema normalmente depende de los objetivos del estudio de la simulación. Por ejemplo, lo que podría ser un sistema para un estudio particular podría ser sólo un subconjunto del sistema global para otro.

Los sistemas generalmente tienden a ser dinámicos – su estado cambia con el tiempo. Para describir este estado, se utiliza el concepto del estado de un sistema”. (p. 1146)

a) Elementos del sistema

- **Estado:** El estado de un sistema es el conjunto de variables necesario para describir el status del sistema en algún momento determinado.

- **Entradas:** Es el conjunto de recursos que provienen del medio, tales como insumos o energía, que permiten el funcionamiento y mantenimiento. También puede fluir la información dentro de esta corriente de entradas.

- **Proceso de conversión:** Como un sistema tiene un propósito u objetivo, la energía o insumos que importan los sistemas sirve para mover y hacer actuar sus mecanismos con el fin de alcanzar sus objetivos, en este caso el acarreo de material.

- **Salidas:** Después del proceso de conversión vienen las salidas que son los elementos (productos o servicios) que explotan el sistema al medio. Estas salidas pueden representar entradas por otros sistemas.

- **Retroalimentación:** Es el uso de la información que indica cómo el sistema se está desempeñando, si está haciendo bien o no su trabajo en la búsqueda de su objetivo. Esta información es introducida nuevamente al sistema para realizar correcciones o mejoras.

La Figura 8 describe cómo la simulación satisface las etapas de la mejora en la operación.

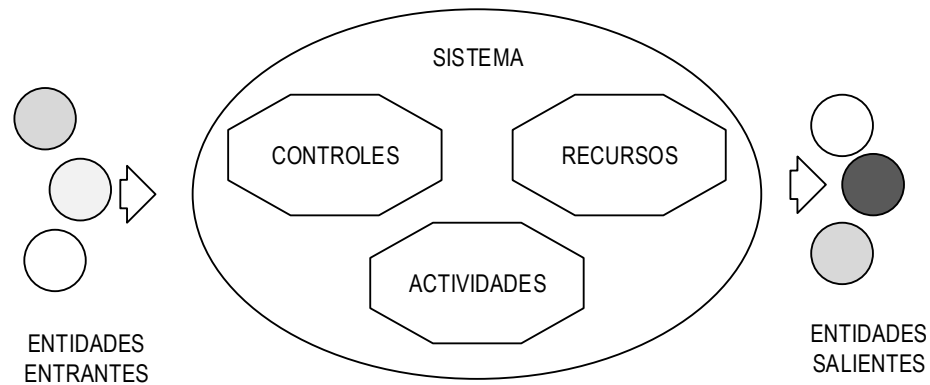


Figura 8. Elementos de un sistema

Fuente: (Torres, 2010, p. 20)

Según Torres (2010), cuando se habla de la simulación se puede identificar otros elementos:

- **Entidades:** Son los ítems que transitan por el sistema para ser procesados o recibir un servicio. Las entidades se pueden caracterizar por el costo, el orden, la prioridad, el estatus, entre otros factores.

Se clasifican en tres tipos:

- Humanos o animados: clientes de un supermercado, pacientes de una clínica.
- Inanimados: productos, piezas, documentos.
- Intangibles: llamadas telefónicas, correos electrónicos, proyectos.

- **Actividades:** Son las tareas que se realizan en un sistema; pueden estar involucradas directa o indirectamente en el procesamiento de las entidades. Las actividades tienen una duración y por lo general involucran el uso de recursos. Se pueden clasificar en:

- Proceso de entidades: corte de una pieza, servicio a clientes.
- Movimiento de entidades y de recursos: transporte en un elevador.
- Ajuste, mantenimiento y reparación de recursos: configurar una máquina.

- **Recursos:** Son los medios para poder ejecutar las actividades. Proveen el soporte de máquinas, equipos, personal y facilidades en general, para llevar a cabo las actividades.

Pueden ser:

- Humanos o animados: operadores, personal de mantenimiento.
- Inanimados: equipos, herramientas, dinero, espacio de almacenamiento.
- Intangibles: información, tiempo, energía eléctrica.

- **Controles:** Los controles gobiernan cómo, cuándo y dónde son ejecutadas las actividades; también determinan las acciones que se deben tomar cuando cierto evento o condición ocurre.

Ejemplos:

- Inicio y fin de la ejecución de las actividades.
- Priorización y secuenciación de actividades.
- Programas de producción.

- **Atributos:** Los atributos son variables asociadas exclusivamente a las entidades, almacenan valores o información acerca de cada entidad. Para individualizar entidades es necesario vincularles atributos. Las entidades poseen atributos que contienen información característica para cada entidad; es decir, las entidades poseen características que son comunes pero contienen información específica para cada entidad, que las diferencian unas de otras.

Ejemplos: peso, edad, tamaño, hora de arribo, prioridad, tipo, etc.

- **Variables globales:** Estas variables son utilizadas en el modelo de simulación; representan una parte de la información que refleja alguna característica del sistema en estudio, independientemente de la cantidad o tipo de entidades. A diferencia de los atributos, las variables no están asociadas a alguna entidad específica. Sin embargo, son accesibles para cualquiera de estas; incluso para alterar los valores que estas contienen. Las variables pueden representar algo que se cambia en forma persistente durante la simulación. Las variables en Arena pueden ser arreglos de una y dos dimensiones, como vectores y matrices.

Ejemplos:

- Contar los bultos que ingresan al camión (Cuenta=Cuenta+1)
- Acumular el peso (Acumula=Acumula+1)

Cada elemento del sistema afecta a otros elementos.

b) Variables del sistema

En el diseño de un nuevo sistema o en la mejora de uno ya existente se requiere lograr un entendimiento de cómo los elementos del sistema se interrelacionan afectándose unos a otros. Para ayudar a entender esas relaciones se definen tres tipos de variables del sistema:

- **Variables de decisión:** En un experimento, estas representan la variable independiente. Es posible alterar los valores de las variables independientes, cada vez

que estos sucede se afecta el comportamiento del sistema La persona que realiza el experimento controla y cambia los valores de las variables de decisión, en base a algún criterio técnico. Ejemplo: Asignar a un determinado número de operadores a la línea de producción, agregar un turno adicional de trabajo.

- **Variables de respuesta:** También llamadas variables de performance, pues miden el desempeño del sistema en respuesta a alguna variable de decisión. Ejemplo: El tiempo promedio que una entidad permanece en cola, el número de entidades procesadas en un periodo dado, la utilización de un recurso, etc. En un experimento, variable de respuesta representa la variable dependiente; es decir, estas no pueden ser alteradas. El objetivo en el planeamiento de sistemas es encontrar la configuración o los valores idóneos de las variables de decisión que den los valores deseados de respuesta.

- **Variables de estado:** Las variables de estado contienen valores individuales, pero en forma conjunta describen el estatus del sistema en cualquier instante del tiempo. Ejemplos: El número actual de entidades en cola, el número actual de recursos que están siendo utilizados o que están disponibles, el número promedio actual de entidades en el sistema, el estado actual de una máquina (ocupada, inactiva o malograda). Las variables de estado a menudo tienen un efecto en la toma de decisiones cuando los eventos ocurren; por ejemplo, la disminución del número de entidades en una cola puede generar el cambio de cola de una entidad. Un cambio en una variable de estado del sistema, también puede causar la ocurrencia de otros eventos, por ejemplo, cuando el nivel del inventario cae por debajo de lo establecido, se lanza la orden de pedido al proveedor. Las decisiones que se toman también afectan las variables de estado, pues generan un cambio de valor en estas, por lo tanto, afectan el desempeño general del sistema. En la simulación por eventos discretos se generan cambios discretos en las variables de estado. En la simulación continua se generan cambios continuos en las variables de estado, que cambian permanentemente en el tiempo. Para mayor detalle consúltese (Torres, 2010, pp.20-46).

2.3.1.2. Simulación

Winston (2005) define de la siguiente manera:

“La simulación se podría definir como una técnica que imita la operación de un sistema del mundo real a medida que evoluciona con el tiempo. Esto normalmente se hace desarrollando un modelo de simulación. Un modelo de simulación, por lo general, toma la forma de un conjunto de suposiciones cerca de la operación del sistema, expresado como relaciones matemáticas o lógicas entre los objetos de interés en el sistema. El proceso de simulación tiene que ver con ejecutar el modelo a través del tiempo.” (p. 1145)

Banks (1998) la define de la siguiente manera:

“Una simulación es la imitación de la operación de un sistema o proceso real a través del tiempo. Ya sea manual o por computadora, la simulación por definición se refiere a la generación de una historia artificial del sistema y la observación de esta historia para proyectar inferencias sobre las características del sistema real.” (p. 3)

La tabla N°10 describe cómo la simulación satisface las etapas de la mejora en la operación.

Tabla 10
Ventajas de la simulación en distintas etapas de un proyecto

Etapa dentro del proyecto de mejora	Orientación	Ventaja
Capacitación	Ayudar a la organización a visualizar el valor de las iniciativas por venir y promueve el cambio cultural	Un modelo visual rápido que ayuda a todos los niveles de la organización a observar el impacto del cambio en las medidas de desempeño clave.
Elección de los proyectos correctos	Dar prioridad a los proyectos esbeltos que maximizan el beneficio	El modelo se utiliza para cuantificar rápidamente el impacto potencial de los proyectos y predecir los requerimientos de recursos en apoyo a los proyectos.
Trazo (mapeo) del flujo del valor	Documentar el estado actual y el estado futuro de un proceso	Un simulador de procesos permite mapeos que rápidamente son simulados y almacenados en apoyo a los esfuerzos de mejora continua.
Iniciativas específicas	Cambiar políticas, procedimientos y procesos para anticipar la mejora	Prueba todos los cambios potenciales en un modelo exacto y dinámico para entender el impacto sobre el proceso específico y sobre las actividades precedentes y subsecuentes.

Fuente: (Banks, 1998, p. 6)

a) Etapas de la simulación

Según Banks (1998), el desarrollo de un modelo de simulación sigue la siguiente metodología:

1.- Formulación del problema: Toda simulación comienza con el enunciado de un problema. Si este enunciado es dado por quienes tienen el problema (Cliente), es indispensable tener un claro entendimiento de este. Por otro lado si es problema es preparado por los investigadores es importante que el cliente entienda y este de acuerdo con la formulación de este mismo. Igualmente todos los supuestos deben ser preparados, analizados y acordados con el cliente. Aunque se tengan todas estas precauciones es posible que el problema necesite ser reformulada a lo largo del proceso de simulación.

2.- Establecimiento de objetivos y el plan general del proyecto: Los objetivos indican las preguntas que deben ser respondidas a través del estudio de la simulación. El plan general de proyecto debe incluir el establecimiento de varios escenarios que deben ser investigados. Este plan debe indicar el tiempo requerido, personal que será utilizado, requerimientos de hardware y software si el cliente desea correr el modelo y analizar su comportamiento, etapas de la investigación, resultados de cada etapa y costos de investigación.

3.- Conceptualización del modelo: El sistema real que está bajo investigación y análisis debe ser llevado a un modelo conceptual, una serie de relaciones lógicas y matemáticas que representan los diferentes componentes y estructura del sistema, Es recomendable que para el desarrollo de este modelo se empiece haciéndolo lo más sencillo posible y que a partir de este se incluya cada uno de los diferentes aspectos hasta tener un modelo con la complejidad adecuada. No es necesario realizar el modelo lo más complejo posible, ya que esto incrementa los costos de la investigación y el tiempo necesario sin agregar ningún valor ni diferencia a los resultados obtenidos. En esta etapa debe estar muy involucrado el cliente ya que esto aumentará la calidad del modelo resultante incrementando la confianza y satisfacción del cliente.

4.- Recolección de datos: Cuando el plan del proyecto es aceptado, se debe enviar una programación con los requerimientos de datos necesarios al cliente. En el mejor de los casos el cliente ha recolectado la información en formato digital para comenzar el análisis. En este caso es importante aclarar que los datos necesarios son individuales y no resúmenes ni promedios de estos. Según el esquema es posible que la recolección de datos y conceptualización del modelo se puedan estar realizando en paralelo.

5.- Traducción del modelo: El modelo anteriormente descrito en el paso 3 debe ser codificado en un formato que sea reconocido por el software de modelación utilizado.

6.- Verificación: En esta etapa se evalúa si el modelo está funcionando apropiadamente. La verificación es un proceso continuo a lo largo de todo el proceso de simulación. Es necesario esperar hasta que el modelo este totalmente terminado para poder comenzar la verificación. Este proceso es uno de los principales para la confiabilidad de los resultados y el éxito del proyecto.

7.- Validación: La validación es un proceso en el cual se evalúa si el modelo conceptual es una acertada aproximación del sistema real analizado. La pregunta principal en esta etapa es si el modelo realizado puede ser utilizado para el análisis del sistema real. Para poder responder a la anterior pregunta es necesario comparar los resultados del modelo con los resultados reales del sistema real.

8.- Diseño de experimentos: Para cada escenario que se vaya a simular, se deben tomar decisiones como el tiempo de simulación, el número de corridas o réplicas y las maneras de iniciar el modelo.

9.- Realizar corridas y análisis: Las diferentes corridas y su posterior análisis son utilizados para estimar medidas de desempeño de los diferentes escenarios que han sido simulados. Según estos resultados se debe tomar decisión si son necesarias más corridas para aumentar el nivel de confianza de los resultados.

10.- Documentación y reporte: En esta etapa se deben reunir todos los diferentes análisis y resultados obtenidos en todo el proyecto de simulación para ser presentados a los clientes de este proyecto y las diferentes partes interesadas. Así mismo se debe indicar claramente, si se requiere, las recomendaciones o planes de implementación de los diferentes escenarios solución al problema que resultaron más eficientes y eficaces según el proyecto.

La Figura 9 muestra el conjunto de etapas mencionadas para guiar la construcción de un modelo de simulación. Para mayor detalle consúltese (Banks, 1998, p. 15).

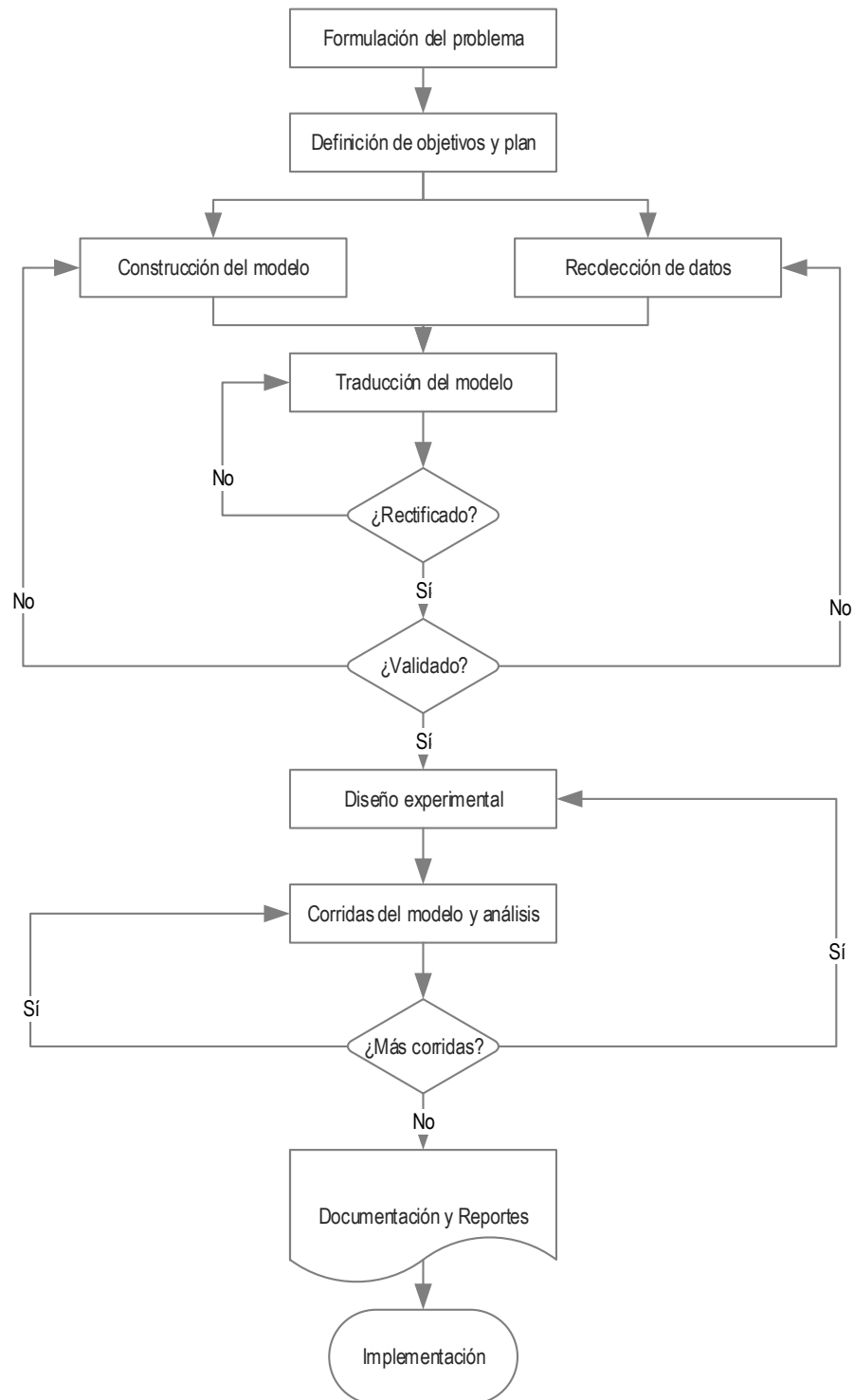


Figura 9. Diagrama de flujo del proceso general de simulación

Fuente: (Banks, 1998, p. 16)

b) Tipos de simulación

Existen distintos modelos de simulación que permiten representar sistemas reales de diferentes tipos, como los siguientes:

1.- Modelo continuo: Se define a través de ecuaciones diferenciales, ya que estas permiten conocer el comportamiento de las variables en un lapso de tiempo continuo, es decir, que las variables de estado cambian continuamente con respecto al tiempo.

2.- Modelo discreto: En este tipo de simulación los cambios de estado del sistema pueden representarse por medio de ecuaciones evaluadas en un punto determinado.

4.- Modelos estáticos: Este tipo de simulación representa un resultado bajo un conjunto de situaciones o condiciones determinadas y el efecto del tiempo no se tiene en cuenta.

5.- Modelo determinístico: Son relaciones constantes entre cambios de las variables del modelo, es decir que tanto las variables de entrada como de salida son constantes.

6.- Modelo probabilístico: Tiene por lo menos una variable de entrada, la cual es independiente y las variables de salida, que son dependientes. Ambas variables son aleatorias.

c) Simulación de eventos o sucesos discretos

Es el tipo de simulación en el que se hace seguimiento de los cambios de estado, pues se requiere la identificación de qué es lo que causa el cambio y cuándo lo causa, a lo que se denomina “suceso”, las ecuaciones del modelo se convierten entonces en las ecuaciones y relaciones lógicas que determinan las condiciones en que tiene lugar la ocurrencia de un suceso.

Según Winston (2005):

“Un sistema discreto es uno en el que las variables de estado cambian sólo en puntos discretos o contables del tiempo. Ejemplo: La simulación de un banco, puesto que las variables de estado cambian sólo cuando llega un cliente o cuando se termina de atender a un cliente y sale. Estos cambios tienen lugar en puntos discretos del tiempo.” (p. 1146)

d) Variables aleatorias

En simulación, los valores que puede tomar una variable aleatoria, como la duración de una actividad, o quizá el tiempo entre arribos de las entidades al sistema, son representados por una Distribución de Probabilidad. Para generar un valor individual de la variable aleatoria, un número aleatorio (creado mediante un generador de números aleatorios) es colocado en una rutina o ecuación de transformación, convirtiendo el número aleatorio en un valor que conforma una distribución de probabilidad y que representa a la variable aleatoria.

El comportamiento aleatorio en un sistema es expresado en un modelo de simulación, ya sea utilizando expresiones de probabilidad (véase el ejemplo anterior) o por la especificación de distribuciones de probabilidad. Esto depende de si se trata de un hecho particular de decisión mediante la comparación con un número aleatorio generado, o si se trata de la probabilidad de un valor asociado a una variable aleatoria, como la duración de una actividad, o quizá la cantidad de productos que compra un cliente, etcétera. Las expresiones de probabilidad definen la variabilidad de posibles resultados; las distribuciones de probabilidad definen la variabilidad de una situación dada, expresada por un universo de posibles valores pertenecientes a la variable aleatoria. Para mayor detalle consúltese (Torres, 2010, p. 42).

e) Distribuciones de probabilidad

Frecuentemente, los sistemas estocásticos tienen situaciones que implican la determinación de valores de tiempo o cantidad, que varían de acuerdo a una forma o densidad y a un rango dado. Por ejemplo, el instante en que ocurrirá el próximo

evento, el número de paquetes por trasladar, el tiempo de recorrido hasta la ventanilla de atención o el tiempo de una consulta médica, entre otros. Los resultados o valores posibles que pueden tomar todas estas situaciones conforman el universo de valores que está definido en las variables aleatorias y pueden ser expresadas o representadas por medio de una distribución de probabilidad.

Ejemplo: El tiempo de una actividad se define en el modelo mediante una distribución de probabilidad (Uniforme, Triangular, Normal, etc.), incluyendo sus parámetros (Uniforme (4,6), Triangular (8, 10, 12), Normal (15,0.1), etc.) que describen la forma o densidad y rango de la distribución. Durante la ejecución de la simulación, los valores individuales de las variables aleatorias se generarán de esta distribución, cada vez que una entidad inicie la operación. Para mayor detalle consúltese (Torres, 2010, p. 42).

f) Elección del modelo de simulación

Generalmente pueden hacerse estudios de simulación en la construcción, de dos formas, estos son: sistemas discretos y continuos. La mayoría de las operaciones del sector construcción son ejemplos de sistemas de eventos discretos.

Un sistema discreto es aquel que en un intervalo de tiempo, en cualquier momento sólo un número contable de eventos pueden ocurrir, es así para el caso de los proyectos de Mantenimiento y Construcción Vial, pues pueden suceder una variedad de eventos que ocurren simultáneamente y que a su vez pueden ser contabilizados, por ejemplo: en un momento particular un camión volquete puede llegar a tiempo a un carguío, mientras otro puede estar alejándose, un proceso de carguío puede estropearse o un camión puede terminar descargando en una zaranda o chancadora, entre otros, es decir, existen muchos eventos que tienen lugar a la vez y que pueden ser contados.

En un sistema continuo no es posible enumerar los eventos, como por ejemplo podría ser el flujo de aire en una mina o el flujo de aceite en una línea de la tubería, entre otros, tales sistemas son gobernados por ecuaciones diferenciales que en general son no lineales, puesto que la mayoría de los sistemas del sector construcción puede representarse como sistemas discretos, esta tesis sólo trata de dichos sistemas.

2.3.1.3. Software ARENA®

ARENA® tiene sus orígenes en 1982; en ese año Dennis Pedgen publicó el primer lenguaje de simulación de propósito general para modelar sistemas de manufactura en un PC.

ARENA® es un sistema que provee un entorno de trabajo integrado para construir modelos de simulación en una amplia variedad de campos; integra, en un ambiente fácilmente comprensible, todas las funciones necesarias para el desarrollo de una simulación exitosa (animaciones, análisis de entrada y salida de datos y verificación del modelo).

El desarrollo de modelos de simulación mediante este sistema tiene varias ventajas, entre las que se encuentran:

- Es una poderosa herramienta de simulación.
- Comprende un entorno amigable, que está especialmente diseñado para personas que no poseen conocimientos de programación.
- Los utilitarios que brinda son de fácil uso.
- Cuenta con una excelente capacidad gráfica.
- Ofrece gran versatilidad, pues se puede modelar desde una fábrica automotriz hasta una sala de espera de un hospital.
- Es compatible con productos MICROSOFT OFFICE®.

Sin embargo, ARENA® tiene también algunos puntos débiles, a saber:

- Es difícil correr un modelo creado en ARENA® en cualquier otro programa de simulación. Esto se da básicamente porque es difícil sincronizar los relojes con los que funcionan los programas.
- La documentación y la ayuda que este sistema ofrece es poca; además no es lo suficientemente clara, y algunos de los ejemplos que presenta tiene errores.

Se señaló que la compatibilidad con los productos MICROSOFT OFFICE® es una de las características principales de ARENA®; esto quiere decir, entre otros aspectos, que las barras de herramientas, los menús y hasta las teclas aceleradoras de este sistema son similares a las que usa MICROSOFT OFFICE®. Así, quienes hayan

tenido algún tipo de relación con estos productos se darán cuenta que muchos de los procesos que se realiza en OFFICE se ejecutan de forma análoga en ARENA®. Para mayor detalle consúltese (Fábregas, 2003, p. 3).

a) Panel de procesos básicos

El panel de procesos básicos es un conjunto de módulos que permite la elaboración de diagramas de flujo de poca complejidad, están divididos en módulos lógicos (parte activa del modelo) y módulo de datos (declarar los valores iniciales y propiedades de los diferentes elementos).

Entre los módulos lógicos tenemos:

- **Create:** Las entidades que pasarán a ser procesadas en sistema simulado se generan en este módulo, el cual se toma como punto de partida para la construcción de un modelo, aunque, según el sistema que se va a simular, varias entradas de entidades pueden ser requeridas. En este módulo se asigna el atributo Entity Type.
- **Dispose:** Este módulo, que tiene como función retirar una entidad del modelo, se agrega al final de todas las instrucciones, en el momento en que se considere que la entidad al final ha llegado al punto de salida del sistema simulado. En este módulo se recolectan las estadísticas correspondientes a la entidad.
- **Process:** En este módulo las entidades experimentan una operación que involucra la utilización de un recurso, la demora que ocasiona el tiempo de procesamiento y la liberación del recurso. Así mismo, en él se puede especificar a qué categorías del costo pertenece el tiempo de la operación (valor agregado, no valor agregado, transferencia, espera, entre otros). Este módulo también puede cumplir la función de un submodelo.
- **Decide:** Permite direccionar el flujo de entidades de acuerdo con una regla de decisión, la cual se puede base en una condición, en una probabilidad o en una expresión.

- **Batch:** Permite formar lotes o grupos de entidades de un tamaño cualquier y previamente definido. Estos lotes o grupos pueden ser permanentes o temporales, de cualquier tipo de entidad o de un tipo específico. Cuando se forma un lote se crea una entidad que representa al grupo formado.
- **Separate:** Separa lotes que se forman temporalmente; desarrolla la función opuesta del módulo batch. Este módulo se puede usar también para hacer varias copias de una entidad.
- **Assign:** Su función es cambiar el valor de un atributo, figura, nivel, secuencia u otra variable del sistema. Es posible hacer varias asignaciones en un solo módulo Assign.
- **Record:** Se emplea para recolectar estadísticas en el modelo de simulación. También se puede emplear como un contador.

Entre los módulos de datos tenemos:

- **Entity:** En esta hoja de trabajo se definen, en las diferentes categorías, el atributo Entity Type, la primera animación que se le asigna a la entidad y sus respectivos costos iniciales.
- **Queue:** En este módulo se definen los nombres de las diferentes colas y el tipo de regla de liberación que éstas siguen (FIFO, LIFO, etc.).
- **Resource:** Los recursos utilizados se declaran en este módulo; así mismo, se definen sus características, como capacidad, costo de operación y fallas.
- **Variables:** En esta hoja se definen los valores iniciales de las variables empleadas en el modelo y, en el caso de arreglos, sus dimensiones.
- **Schedule:** En este módulo se define el horario de trabajo mediante el cual se programa la capacidad de un recurso.
- **Sets:** Se usa cuando se requiere formar grupos repetitivos de recursos, figuras, colas, contadores, estadísticas, entre otros, con el fin de facilitar el modelamiento de un sistema determinado. Para mayor detalle consúltese (Fábregas, 2003, p. 10).

2.3.2. Principios de mantenimiento

2.3.2.1. Mantenimiento

Según el diccionario de la Real Academia Española de la lengua se define semánticamente mantenimiento como:

“Es una actividad dinámica donde interactúan varias variables complejas dentro de un patrón aleatorio, que se fundamenta en la teoría de probabilidades y su objetivo es la maximización de la efectividad del sistema, sin sacrificar el medio ambiente y la seguridad.”

Esta actividad debe ser susceptible a ser:

- Planificada
- Dirigida
- Controlada

A través de la gestión integral del Mantenimiento que tiene como funciones primarias el:

- Control de equipos
- Control de trabajos
- Control de materiales
- Control de costos
- Reporte a la gerencia

Estas funciones deben estar interconectadas por una base de datos que incluya, entre otros, los registros de los equipos.

El mantenimiento debe ser analizado como un sistema abierto donde interactúan varias variables complejas.

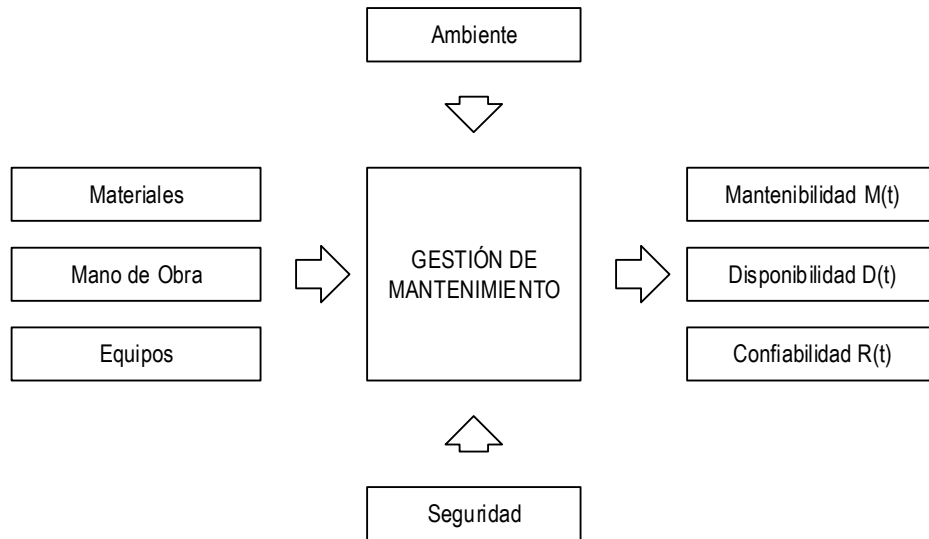


Figura 10. Sistema de la Gestión del Mantenimiento

Fuente: (Moreno, 2009, p. 31)

2.3.2.2. Índices de mantenimiento

a) Confiabilidad [R(T)]

Es una característica de un sistema, equipo o componente, expresada por la probabilidad de que ese sistema, equipo o componente cumpla una función para la cual fue diseñado en las condiciones de utilización y en un periodo dado.

La confiabilidad es un elemento esencial para organizar la gestión de mantenimiento. El incremento de la confiabilidad de los equipos es uno de los problemas más álgidos en el mantenimiento. Los métodos estadísticos para el cálculo de la confiabilidad se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11
Métodos estadísticos para el cálculo de la confiabilidad

Métodos Estadísticos	
Métodos Paramétricos	Distribución de Weibull
	Distribución exponencial
	Distribución carga-resistencia
Métodos no Paramétricos	Análisis de sobrevivencia y falla

Fuente: (Moreno, 2009, p. 32)

Estadísticamente, la confiabilidad de un componente o sistema ($R(t)$) se define, como la probabilidad de que dicho componente no falle durante el intervalo $[0, t]$ o lo que es lo mismo, la probabilidad de que falle en un tiempo mayor que t .

Siendo:

$$[R(t)] = P(T > t) \quad (\text{Ec. 1})$$

y T la duración del componente.

Si $f(t)$ es la función de densidad de probabilidad, la probabilidad de que el componente falle en el intervalo de 0 a t , está dada por:

$$\frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{R(t)} \quad F(t) = \int_0^t f(t) dt \quad (\text{Ec. 2})$$

Y la confiabilidad:

$$[R(t)] = 1 - F(t) \quad (\text{Ec. 3})$$

El método probabilístico de la confiabilidad viene dado de la siguiente manera:

La $[R(t)]$ de un sistema o componente depende del tiempo que haya estado en servicio el equipo.

Si $f(t)$ es la densidad de distribución, la probabilidad de que la variable aleatoria t se encuentre entre (t) y $(t + \Delta t)$, está dada por $f(t) \cdot \Delta t$, entonces, la probabilidad de que el componente falle en el primer intervalo de (0) a (t) está dada por:

$$F(t + \Delta t) - F(t) \quad (\text{Ec. 4})$$

Y la probabilidad condicional de falla en ese intervalo, dado que el componente sobrevivió al tiempo (t), está dada por:

$$\frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{R(t)} \quad (Ec. 5)$$

Dividiendo entre Δt obtenemos la falla media en el intervalo (t) y (t+ Δt), dado que el componente sobrevivió al tiempo t.

$$\frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} \times \frac{1}{R(t)} \quad (Ec. 6)$$

Tomando el límite, haciendo $\Delta t \mapsto 0$, hallamos la tasa de falla $\lambda(t)$:

$$\lambda(t) = \frac{F'(t)}{R(t)} \quad (Ec. 7)$$

Como $F'(t)=f(t)$, se tiene:

$$\lambda(t) = \frac{F'(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (Ec. 8)$$

b) Mantenibilidad [M(T)]:

Es la probabilidad de un equipo y/o componente asociada a su capacidad de ser recuperado para el servicio, cuando se realizan los trabajos de mantenimiento necesarios según se especifica.

Así la mantenibilidad podría expresarse cuantitativamente mediante el tiempo T empleado en realizar la tarea de mantenimiento programado, con los recursos y especificaciones dadas.

El concepto de mantenibilidad tiene relación con la teoría de probabilidad, y puede ser representada por una distribución de densidad de probabilidad que se llamará función de mantenibilidad representada por M(t):

$M(t) = P(\text{funcionabilidad sea recuperada en el tiempo } t \text{ o antes})$

$$M(t) = P(T.T.R \leq 1) \quad (Ec. 9)$$

Donde $m(t)$ es la función de densidad:

$$M(t) = \int_0^t m(t) dt = 1 - l^{-\int_0^t \mu(t) dt} \quad (Ec.10)$$

La tasa de paralización $\mu(t)$:

$$\mu(t) = \frac{m(t)}{1 - M(t)} \quad (Ec.11)$$

c) Disponibilidad [D(T)]:

Es la probabilidad que tiene un sistema o equipo de estar disponible para su uso durante un “t” cualquiera, sólo se aplica a equipos reparables.

La disponibilidad viene representa por $D(t)$ y definida por los parámetros μ (Tasa de paralización), λ (Tasa de fallas):

$$\mu = \frac{1}{TMDR} \quad (Ec. 12)$$

Donde TMDR es el tiempo medio de reparación (Incluyendo los tiempos de reparación y de revisiones).

$$\lambda = \frac{1}{TPEF} \quad (Ec. 13)$$

Donde TPEF es el tiempo promedio entre fallas.

Entonces la Disponibilidad es:

$$D(t) = \frac{TPEF}{TPEF + TMDR} \quad (Ec. 14)$$

2.3.2.3. Tipos de mantenimiento

El mantenimiento moderno ha llevado a la aparición de diferentes clases de mantenimiento con el objetivo de explicar las actividades que lo involucran, es decir, se realiza para justificar una nueva metodología o filosofía. Esta metodología clasifica el mantenimiento en cuatro (4) tipos:

a) Mantenimiento preventivo

Consiste en un grupo de acciones planificadas que se ejecutan periódicamente, con el objetivo de garantizar que los equipos cumplan con las funciones requeridas durante su ciclo de vida útil dentro del contexto operacional donde se ubican, alargar sus ciclos de vida y mejorar la eficiencia de los procesos.

b) Mantenimiento correctivo

Es aquel trabajo que involucra una cantidad determinada de tareas de reparación con el objetivo de restaurar la función de un equipo una vez producido un paro imprevisto. Las causas que pueden originar un paro imprevisto se deben a los defectos no detectados durante las inspecciones predictivas, a errores operacionales, a la ausencia de tareas de mantenimiento y a requerimientos de producción que generan políticas como la de reparar cuando falle.

c) Mantenimiento predictivo

Es un mantenimiento planificado y programado que se fundamenta en el análisis técnico, inspecciones programadas y el monitoreo de los equipos. Es aquel donde la acción de mantenimiento está basada en las condiciones actuales del equipo. Es un mantenimiento que detecta las fallas potenciales de un sistema en funcionamiento y se lleva a cabo cuando los resultados del diagnóstico así lo requieren.

d) Mantenimiento overhaul

También llamado cero horas. Es el conjunto de tareas cuyo objetivo es revisar los equipos a intervalos programados antes de que aparezca alguna falla, o bien cuando

la fiabilidad del equipo ha disminuido de manera apreciable que es arriesgado hacer prever sobre su capacidad. Consiste en dejar el equipo a cero horas de funcionamiento, es decir, como nuevo. Se sustituyen o reparan todos los elementos sometidos a desgaste. Se pretende asegurar, con una alta probabilidad un buen tiempo de funcionamiento fijado de antemano. Para mayor detalle consúltese (Pascual, 2005, p. 32)

2.3.2.4. Fallas y fallas funcionales

Una falla es la ocurrencia no previsible, inherente al elemento de un equipo que impide que este cumpla la misión para la cual fue diseñado y una falla funcional se define como la parcial o total incapacidad de un elemento o componente de un equipo para cumplir con los estándares de funcionamiento a un nivel de desempeño deseado.

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), tiene como objetivo principal asegurar que un elemento físico continúe desempeñando las funciones deseadas. Para ello, hace anticipaciones, impidiendo o corrigiendo las situaciones en que el equipo ya no puede desempeñar la función deseada, produciendo una falla funcional. Esto sugiere que los criterios utilizados para definir la falla forman la base de todo el resto del proceso de toma de decisiones sobre el mantenimiento. Por consiguiente, se debe definir claramente los criterios de funcionamiento asociados a cada función, y en lo que es posible cuantificarlos.

2.3.3. Principios de Distribución de probabilidad

a) Vida útil de un producto

La vida útil de un producto se puede representar por una curva de la bañera, como se ilustra en la Figura 11.

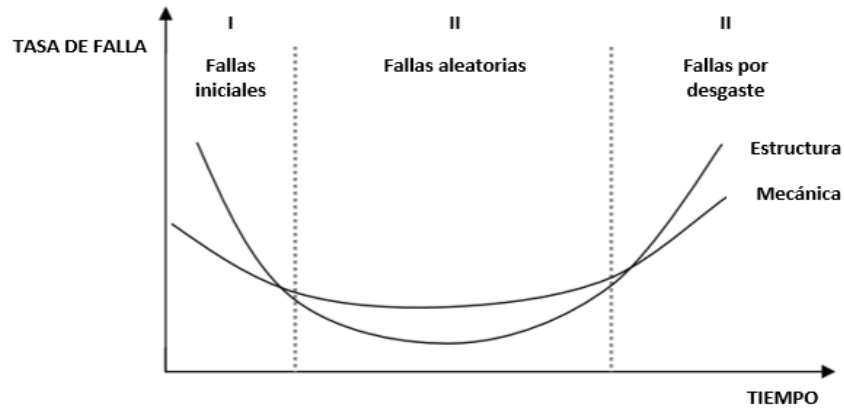


Figura 11. Distribución de probabilidad del tiempo entre fallas de un equipo

Fuente: (Muñoz, 2003, p. 10)

La curva de la bañera con el ciclo de vida de un producto refleja:

- La mortalidad infantil representa las fallas debidas a problemas de diseño o ensamble con tasa de falla decreciente respecto al tiempo.
- La zona de fallas aleatorias representa una tasa de falla constante respecto al tiempo.
- La zona de desgaste o envejecimiento representa la zona de tasa de falla creciente cuando el componente está llegando al final de su vida útil.

a.1) Función de riesgo (Tasa de Riesgo o Tasa instantánea de Riesgo)

Se define como:

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad \text{Ec. (15)}$$

Es el resultado del siguiente límite:

$$h(t) = \lim_{\Delta \rightarrow 0} \frac{P(t < T < T + \Delta | T > t)}{\Delta} \quad \text{Ec. (16)}$$

Representa la probabilidad de falla instantánea en el tiempo $t + \Delta t$ dado que la unidad ya sobrevivió hasta el tiempo t . Para mayor detalle consúltese (Muñoz, 2003, p. 8).

a.2) Función de Confiabilidad

Es una función decreciente denominada también función de supervivencia es la probabilidad de sobrevivir hasta el tiempo t , se representa como:

$$R(t) = 1 - F(t) \quad \text{Ec.(17)}$$

a.3) Función de Riesgo Acumulado

Es la integral hasta el tiempo t de la función de riesgo como sigue:

$$H(t) = \int_0^t h(x) dx = 1 \quad \text{Ec.(18)}$$

Por medio de esta función también se puede calcular la confiabilidad como sigue:

$$R(t) = e^{-H(t)} \quad \text{Ec.(19)}$$

a.4) Vida Promedio o Tiempo Medio entre Falla

La vida media es el valor esperado o media de la variable T como sigue:

$$E(t) = \int_0^{\infty} t f(t) dt \quad \text{Ec.(20)}$$

b) Modelos de Distribuciones de Probabilidad para el Tiempo de Falla

Los modelos que suelen utilizarse para el tiempo de falla son: Weibull, Valor extremo, exponencial, normal y lognormal. Aquí se mostrarán sus funciones de densidad $f(t)$, distribución acumulada $F(t)$, función de confiabilidad $R(t)$ y función o tasa de riesgo $h(t)$. También se incluyen la vida media y la función cuantil de cada distribución.

b.1) Distribución Weibull de dos Parámetros

Es una distribución cuya tasa de falla puede ser decreciente, constante o creciente dependiendo de sus parámetros. Normalmente se define con dos parámetros: el de forma β que tiene efecto sobre la forma de la distribución y el de escala η que afecta la escala del tiempo de vida.

La teoría de valores extremos demuestra que la distribución de Weibull se puede utilizar para modelar el mínimo de una gran cantidad de variables aleatorias positivas independientes de cierta distribución: tales como falla de un sistema con una gran cantidad de componentes en serie y con los mecanismos de falla aproximadamente independientes en cada componente.

Sus funciones básicas son:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{Distribución de densidad} \quad \text{Ec. (21)}$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{Distribución acumulada} \quad \text{Ec. (22)}$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{Función de confiabilidad} \quad \text{Ec. (23)}$$

$$h(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad \text{Función de riesgo} \quad \text{Ec. (24)}$$

La vida media y la función cuantil son las siguientes:

$$E(T) = \eta \Gamma(1 + 1/\beta) \quad \text{Ec. (25)}$$

$$t_p = \eta \left[-\ln(1-p)\right]^{1/\beta} \quad \text{Ec. (26)}$$

La función gamma se define como:

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} e^{-t} dt \quad \text{Generalización del factorial de un número} \quad \text{Ec. (27)}$$

$$\Gamma(x) = (x-1)\Gamma(x-1) \quad \text{Para cualquier número} \quad \text{Ec. (28)}$$

$$\Gamma(n) = (n-1)! \quad \text{Para números enteros} \quad \text{Ec. (29)}$$

Esta distribución se aplica a productos con varios componentes de vida similar, donde cuando falla un componente falla el producto.

b.2) Distribución Normal

Posee un comportamiento simétrico, sin embargo es un modelo adecuado cuando muchos componentes tienen un efecto aditivo en la falla del producto. Aquí μ es el parámetro de localización y σ es el parámetro de escala.

Sus funciones básicas de densidad, distribución y confiabilidad son las siguientes:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad \text{Función de densidad} \quad \text{Ec. (30)}$$

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(x) dx = \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad \text{Función de distribución} \quad \text{Ec. (31)}$$

$$R(t) = 1 - \int_{-\infty}^t f(x) dx = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad \text{Función de confiabilidad} \quad \text{Ec. (32)}$$

$$\text{La vida media: } E(T) = \mu \quad \text{Ec. (33)}$$

2.3.4. La empresa

Es una empresa verticalmente integrada y en constante proceso de expansión. Posee diversidad de equipos de Producción; de Línea Amarilla (para el movimiento de Tierra); equipos de transporte de carga y equipos auxiliares para la Construcción y Mantenimiento de carreteras, edificaciones y proyectos de minería. Ofrece una completa variedad de servicios de ingeniería civil, actualmente ubicada en la posición número 6 en el ranking de las 10 mejores constructoras del Perú, según la prestigiosa revista América Economía.

-Visión:

“Afianzarnos como una empresa líder en el mercado nacional con proyección internacional en servicios de ingeniería, construcción, mantenimiento y concesiones; sustentada en el trabajo responsable, dedicado e innovador de sus directivos y colaboradores.”

-Misión:

“Somos una empresa cuya misión es brindar servicios de ingeniería, construcción, mantenimiento y concesiones; contribuyendo así con el logro de objetivos de nuestros clientes y el desarrollo del país. Nuestro accionar privilegia la calidad, la seguridad y la preservación del medio ambiente, en armonía con las comunidades donde se realizan nuestras actividades; desarrollando con nuestros colaboradores las mejores prácticas de trabajo y ampliando nuestros conocimientos en un grato ambiente laboral y logrando una rentabilidad adecuada para nuestros accionistas.”

a) Descripción de la Gerencia de Equipos

La Gerencia de Equipos tiene la misión de administrar y gestionar los equipos propiedad de la empresa, durante su vida útil; adquisición, operación, mantenimiento, y baja.

Además, brinda soporte a los diferentes proyectos que ejecuta la empresa, suministrando los equipos necesarios, propios y alquilados, para el normal desarrollo de los mismos.

Asimismo, brinda el servicio de transporte de repuestos y equipos con unidades propias a los proyectos para la movilización, desmovilización y operación de equipos, es una de las funciones principales para que los procesos que se manejan sean óptimos.

b) Objetivo corporativo de la Gerencia de Equipos

Contribuir de manera activa a la ejecución eficiente de los proyectos de la empresa, velando por el buen uso y rendimiento de los recursos asignados, mediante el suministro oportuno y apropiado de equipos y operadores, con una disponibilidad mecánica operada fijada por la empresa a una tarifa adecuada, lo cual permite a la empresa mantener su competitividad en el mercado.

c) Objetivos específicos Gerencia de Equipos

- Atender los requerimientos de Suministro de Equipos y Operadores en un periodo de 12 días al mes.
- Ofrecer a nuestros clientes una disponibilidad mecánica operada en equipos de 73% al mes.
- Obtener un estado semestral de resultados de la gestión de equipos (valorizaciones de equipo y transporte / presupuesto de costos) = 1.1 (+- 2 % desviación).
- Incrementar en un 3% el resultado de la encuesta anual de clima laboral.

d) Objetivos de otras gerencias que impactan en la Gerencia de Equipos

- Entregar un programa mensual con la proyección de utilización de equipos y operadores por proyecto. (Gerencia de Operaciones).
- Entregar las condiciones de contratación de operadores antes de iniciar la operación (Gerencia de Operaciones).
- Tiempo de reclutamiento de Operadores (Gerencia de Recursos Humanos).
- Tiempo de suministro de repuestos según criticidad establecida (en obra) (Gerencia de Logística).

e) Políticas de la Gerencia de Equipos

La Gerencia de Equipos apunta a suministrar equipos y servicios de operación de carga pesada, de alta calidad manteniendo el porcentaje de disponibilidad mecánica

propuesto por la Gerencia General, a un costo competitivo en relación al mercado hacia su Cliente Principal; Gerencia de Operaciones (Proyectos).

f) Descripción de la Gestión de Mantenimiento en la Gerencia de Equipos

La Gestión del Mantenimiento en la Gerencia de Equipos se encuentra a cargo del área de Mantenimiento; dicha área es la responsable de la supervisión, seguimiento y programación de la ejecución de los trabajos, y cumplimiento de fechas de entrega de equipos en mantenimiento a los Proyectos, en donde la Gerencia de Operaciones realiza los trabajos de Construcción y Mantenimiento vial, y comprende la Gestión de Mantenimiento Preventivo y Correctivo.

Esta gestión implica el seguimiento del ingreso de la data al Sistema ERP SAP, y la responsabilidad de realizar la programación, ejecución y seguimiento del Plan de Mantenimiento de los equipos en los Proyectos.

La Figura 12 describe de forma gráfica la gestión que realiza la gerencia de equipos.

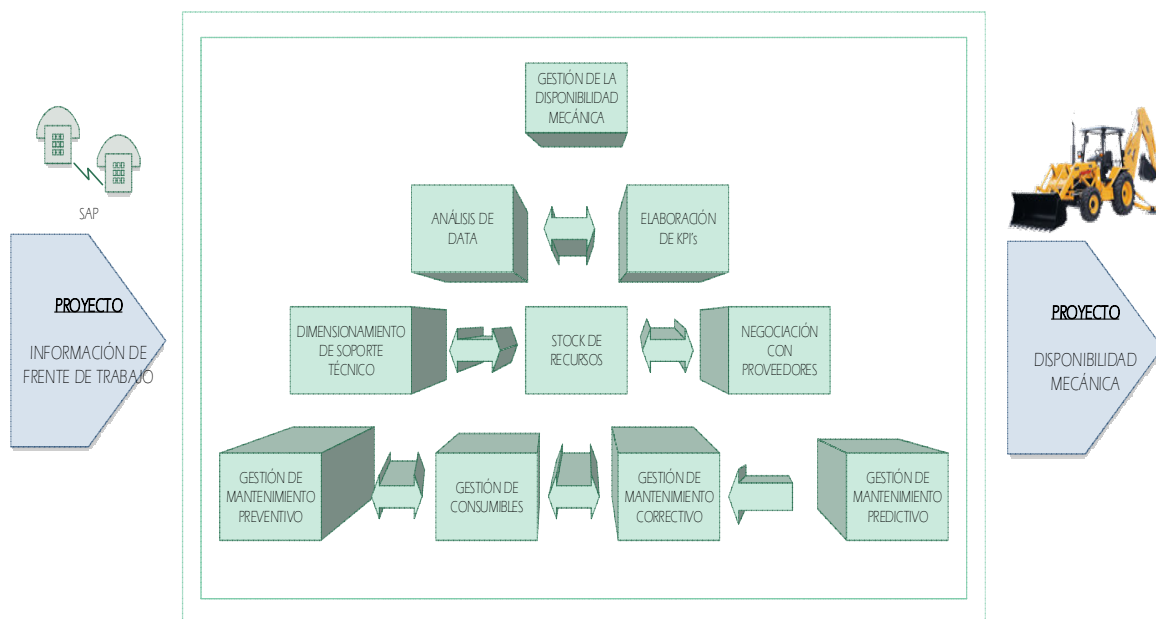


Figura 12. Gestión de mantenimiento en los proyectos de ingeniería

Fuente: Empresa en estudio

g) Relación entre la Gerencia de Equipos y la Gerencia de Operaciones

La gerencia de operaciones es la gerencia encargada del buen desarrollo de las actividades en los proyectos de ingeniería, esta recibe soporte de la gerencia de equipos, la cual se encarga de la planificación de la maquinaria necesaria para que la gerencia de operaciones realice los trabajos de movimiento de tierras y transporte de materiales.

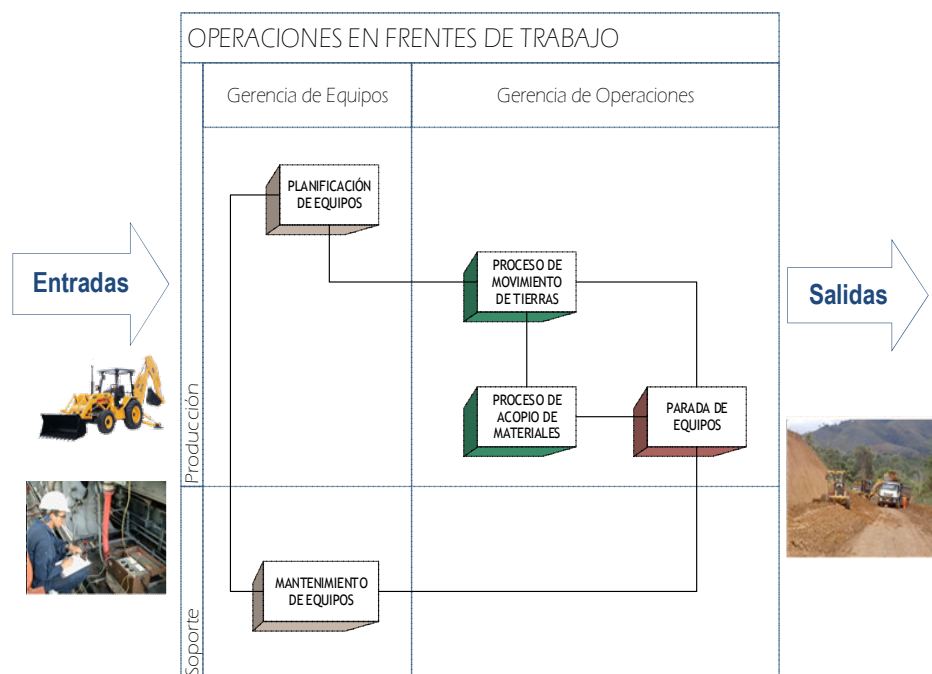


Figura 13. Relación entre la Gerencia de Operaciones y Gerencia de Equipos

Fuente: Empresa en estudio

h) Operaciones principales en los frentes de trabajo

En la Figura 14 se explica de manera general el flujo de actividades en el proceso principal de Producción.

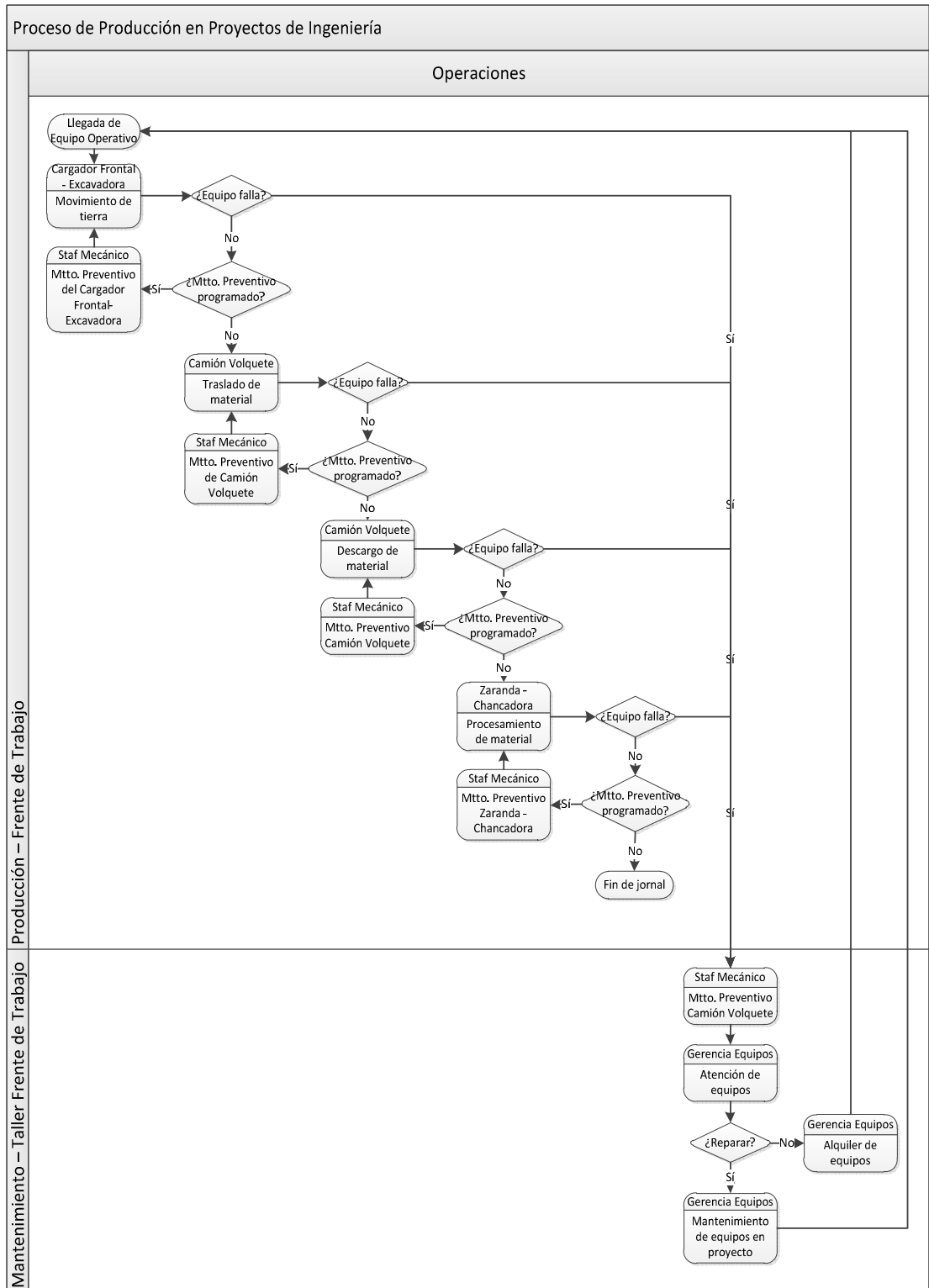


Figura 14. ¿Cómo se hace?

Fuente: Empresa en estudio

2.3.5. ERP SAP

Un Sistema de Información ERP es un sistema de Gestión de Recursos Empresariales, mejor conocido como Enterprise Resource Planning, el cual es un conjunto de aplicaciones que tienen como objetivo; integrar muchas o todas las funciones de una empresa.

El Sistema SAP es un sistema ERP de información que gestiona de manera integrada todas las áreas funcionales de una empresa. Las siglas SAP (System, Applications and Products) identifican a una compañía de sistemas informáticos con sede en Alemania, que se introdujo en el mercado de los sistemas de información con un producto denominado SAP R2, antecesor al SAP R3.

2.3.5.1. Módulo de mantenimiento de planta – ERP SAP

La finalidad del módulo de Mantenimiento de Planta (PM), es la de poder gestionar el mantenimiento de las empresas, facilitando la optimización de los recursos necesarios para el mantenimiento, ayudando al procedimiento de las acciones de mantenimiento y suministrando información de apoyo para las decisiones de los gestores. Todo esto es factible por la forma natural con que se relaciona con los restantes módulos de SAP y mediante la creación de interfaces con el sistema de Recursos Humanos existente si esto es requerido.

a) Características del módulo de mantenimiento de planta – ERP SAP

El uso de PM permite:

1. Planear y programar mantenimientos preventivos
2. Planeación y programación de órdenes de trabajo
3. Reprogramación de mantenimientos
4. Consulta histórica de reparaciones de equipos
5. Consulta de lista de repuestos para equipos
6. Solicitud de materiales
7. Diagnóstico de fallas de equipos
8. Análisis de fallas

Las principales funciones de la gestión del mantenimiento son:

1. Administración de datos Maestros.
2. Estructuración de datos de la Organización
3. Planificación del Mantenimiento.
4. Gestión de Órdenes y Avisos de Mantenimiento.

b) Gestión de la información en módulo de mantenimiento de planta – ERP SAP

Datos maestros es toda aquella información necesaria de tener registrada en el sistema, para que se pueda gestionar el mantenimiento desde él. Dentro de estos tenemos la siguiente información.

-Objetos técnicos

Los objetos técnicos corresponden a los elementos que se requieren sean mantenidos, y llevar un registro histórico de su mantenimiento, dentro de estos tenemos las ubicaciones técnicas y equipos.

-Ubicaciones técnicas

Se define como ubicación técnica, al elemento de la estructura que representa un área estable del sistema en el cual un objeto técnico puede ser instalado, gestionándose individualmente con su propio registro maestro y su historial técnico.

Por ejemplo; una ubicación técnica puede ser un proyecto, un frente de proyecto, una fase de proyecto, una instalación, entre otras.

-Equipos

Un equipo es un objeto físico que puede cambiar de ubicación y que requiere históricos de mantenimiento.

Con el objetivo de delimitar claramente el concepto, se establecen las condiciones necesarias para definir equipos.

Por otra parte, cada centro define sus propios equipos realizando la asignación de estos a la ubicación técnica en que estén montados.

Un equipo puede referirse a; un cargador frontal, un volquete, una camioneta, una planta de asfalto, un vibroapisonador, entre otros.

Los equipos según el tipo de trabajo que realizan, se clasifican como:

- **Equipo de Producción:**

Son equipos que intervienen directamente en el proceso productivo en los proyectos realizando movimiento de tierra, producción de agregados, imprimación, asfaltado, izaje, entre otros. Están afectos a la medición de Disponibilidad Mecánica Operada.

- **Vehículo:**

Es aquella máquina motorizada que sirve para dar soporte a los equipos de producción, para transportar personas o carga por las vías establecidas, puede ser registrado para uso en vías públicas y cumple con la clasificación vehicular establecida por el Reglamento Nacional de Vehículos del Perú.

- **Equipo Auxiliar:**

Es aquel equipo que sirve para dar soporte a los equipos de producción, y no están incluidos en la clasificación vehicular establecida por el Reglamento Nacional de Vehículos del Perú.

Como referencia revisar el Anexo 1; “Clasificación de Equipos según el trabajo que realiza”.

c) Gestión del mantenimiento en SAP (Sistemas, Aplicaciones y Productos para el procesamiento de datos)

La Gestión del Mantenimiento se lleva a cabo a través del ERP SAP mediante la administración de los avisos y órdenes de mantenimiento.

- Avisos

Corresponde al informe sobre la condición de un objeto técnico enviado al centro de planificación del mantenimiento, describiendo el incorrecto funcionamiento del mismo, las tareas efectuadas sobre él, o las modificaciones que se realizaron.

Los tipos de avisos que se generan en el módulo de mantenimiento de planta son:

- **Aviso correctivo**

Informe sobre la condición de un objeto técnico enviado al centro de planificación del mantenimiento, describiendo el mal funcionamiento de este.

- **Aviso predictivo**

Aviso generado por una condición anómala proveniente del mantenimiento predictivo.

- Ordenes de mantenimiento

La orden de trabajo o de mantenimiento, es uno de los ejes principales sobre los que gira el sistema de gestión de mantenimiento. Corresponde a la relación de tareas a realizar para desarrollar una actividad de mantenimiento.

Una orden de mantenimiento puede contener la siguiente información:

- El o los objetos técnicos a que se refiere el trabajo que se va a realizar.
- Las tareas detalladas a efectuar.
- Los puestos de trabajo que realizarán las tareas, indicando si se trata de empleados internos o externos.
- Las operaciones individuales que deben ser realizadas, incluyendo el tiempo planificado de ejecución y el número de personas necesario para desarrollarlas.
- La planificación de los materiales necesarios para realizar las actividades de mantenimiento.
- La norma de liquidación.
- La calificación necesaria para realizar una determinada operación.
- Las relaciones de ordenación entre las distintas operaciones que contiene la orden de trabajo.

d) Flujo de Trabajo de Órdenes de Mantenimiento

A continuación se detalla el procedimiento que se debe seguir desde la apertura de la orden hasta el cierre de la misma.

El cambio de estado de la orden de mantenimiento debe darse en función al avance de los trabajos programados, la asignación del estado TERMINADA en la orden se debe realizar al finalizar los trabajos programados.

1. Se genera la orden y se le asigna el estado abierta.
2. Se programa el trabajo o servicio a realizar.
3. Se le asigna a la orden el status programada.
 - 3.1. En el caso que los trabajos tengan inconvenientes y requieran ser reprogramados en un plazo menor a 7 días, se debe asignar el estado REPROGRAMADO.
 - 3.2. En el caso que los trabajos tengan inconvenientes y requieran ser reprogramados en un plazo mayor a 7 días, se debe de asignar el estado STAND BY.
4. Se ejecuta el servicio y se le asigna el estado TERMINADO.

e) Reporte de Disponibilidad Mecánica en SAP

Este desarrollo permite ver, en una sola pantalla, la disponibilidad mecánica operada y la utilización de un equipo, de varios equipos, de los equipos de producción, de una ubicación técnica, de varias ubicaciones técnicas, entre otros.

La Disponibilidad Mecánica Operada (DMO) en SAP está definida como:

$$DMO = \frac{Hp - Hm}{Hp}$$

Dónde:

- Hp: Horas programadas de operación.
- Hm: Horas de paralización por mantenimiento dentro del horario de trabajo.
- Frecuencia: Semanal, Mensual.

f) Estado de Resultados mediante el SAP

Es el estado de ganancia valorada para un proyecto, su medición es mensual, del siguiente modo:

$$\textit{Estado Resultado} = \textit{Ingresos} - \textit{Egresos}$$

Donde:

-Ingresos:

- Valorización de Equipos + adicionales

-Egresos:

- Costo de posesión ponderado + seguros (mix leasing y propios)
- Costo de Mantenimiento en el proyecto
- Costo de Consumibles en el proyecto
- Costo de Soporte técnico
- Costo de Soporte Lima
- Costo de reparaciones de Taller VMT (prorrateado según el impacto de la valorización)

g) Ratio de eficacia

Es el indicador de eficacia en la gerencia de equipos, su medición es semanal.

$$\textit{Ratio Eficacia} = \frac{\textit{Cantidad de Requerimientos Atendidos}}{\textit{Cantidad de Requerimientos solicitados}}$$

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Introducción

Esta investigación se inició con el análisis de fallas de una flota de camiones volquetes que realiza operaciones en un proyecto de mantenimiento vial, en este estudio se tomaron las estadísticas pertenecientes al horizonte de tiempo:

-Inicio : 01 de Enero del 2011

-Fin : 14 de Mayo del 2014

Luego de analizar las fallas generales por los camiones volquetes, se procede a realizar la estructura de fallas y a seleccionar los componentes críticos del sistema.

Obtenida la relación de componentes que presentan mayor criticidad, se analiza el comportamiento de sus fallas, para obtener la distribución estadística por tipo de falla.

Aquí inicia la primera parte de la solución del problema; la aplicación de la teoría de confiabilidad. Luego de obtener la distribución estadística por tipo de falla, se procede a aplicar la teoría de confiabilidad para cada componente, lo que conlleva a definir el porcentaje de riesgo que presentará el sistema “camión volquete”.

Luego de obtener la confiabilidad estimada del camión volquete, se procede a calcular una nueva frecuencia de mantenimiento preventivo, que en teoría reducirá las paradas no programadas y mejorará el tiempo de operatividad.

La segunda parte del desarrollo de la solución, contempla la realización de la simulación del escenario propuesto en base a la nueva frecuencia de mantenimiento preventivo obtenida en la aplicación de la teoría de confiabilidad.

Para poder simular el comportamiento de los volquetes en su contexto operacional, es necesario poseer los registros de:

- Las horas de arribo de los Volquetes.
- Horas de operación.
- Tiempo entre fallas según el tipo de falla.
- Tiempo destinado al Mantenimiento Preventivo.
- Tiempo destinado al Mantenimiento Correctivo.

Además se plantean diferentes escenarios en base a los recursos disponibles, como por ejemplo; la cantidad de mecánicos que realizan el mantenimiento, una nueva frecuencia de mantenimiento en base a otro porcentaje de riesgo de confiabilidad.

3.2. Características de la Investigación

3.2.1. Enfoque de investigación

La investigación es:

-Cuantitativa; ya que se recolectaron una serie de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.

El desarrollo del modelo es:

-Analítico; ya que para comprobar la hipótesis se analizó el problema planteado descomponiéndolo en partes o elementos, para luego aplicar la Teoría de Confiabilidad y la Simulación de Sistemas.

3.2.2. Tipo de investigación

Para la realización de este proyecto se aplicaron diversos tipos de investigación, los cuales son los siguientes:

-Descriptiva; ya que el estudio permite especificar la descripción, el registro, el análisis y la interpretación de las condiciones presentadas por la situación actual de los camiones volquetes de la empresa.

-Exploratoria; ya que son pocos los antecedentes que existen en relación con el tema planteado, y los que existen no se aplican a este contexto en particular dado que son de características distintas. Así mismo se realizó un seguimiento del comportamiento de los equipos para poder determinar y analizar la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad que presentan los mismos.

-Aplicada; ya que parte de una situación problemática que requirió ser intervenida y mejorada. Comenzó con la descripción sistémica de la situación deficitaria, luego se enmarcó en una teoría suficientemente aceptada de la cual se exponen los conceptos más importantes y pertinentes; posteriormente, la situación descrita se evaluó a la luz de esta Teoría y se propusieron secuencias de acción o un prototipo de solución.

3.2.3. Diseño de la investigación

La estrategia aplicada para la investigación que se efectuó en la empresa en estudio es:

-No experimental; en vista de que esta investigación no implicó someter las variables consideradas a una determinada condición, para evaluar sus efectos, no existió ningún tipo de manipulación sobre las mismas, todos los aspectos manejados fueron sólo descritos y analizados con miras a recomendar acciones que en un futuro se pudieran aplicar.

-Documental; porque se realiza uso de fuentes bibliográficas para ampliar y profundizar el estudio del problema. Estas fuentes bibliográficas utilizadas fueron provenientes de libros, internet y otras investigaciones semejantes.

3.2.4. Método de investigación

Se empleó el método científico como método general y como específico se utilizó el método deductivo ya que las conclusiones del estudio se hallan implícitas dentro de las premisas, es decir, las conclusiones fueron una consecuencia necesaria de las premisas.

3.3. Población de la investigación

La población objeto de estudio estuvo conformada por toda la flota de camiones volquetes que operan en el proyecto de mantenimiento vial en estudio, es decir, sesenta (60) camiones volquetes, cuyas características se conocen de antemano:

- Fecha de adquisición del equipo
- Fecha de inicio de operaciones
- Condiciones ambientales y de seguridad de alto riesgo.

A los cuales se investigó las fallas, para así aplicar la teoría de confiabilidad y proponer una nueva frecuencia de mantenimiento que mejore el tiempo de operatividad.

La Tabla 12 muestra las características de la flota de camiones volquetes comprendida en el estudio.

Tabla 12
Características de los camiones volquetes

Ejemplar	Dimensiones	Capacidad	Potencia	Adquisición	Proyecto
Camión Volquete	3.45*2.50*7.90	15 m ³ , 27420 kg., 360 hp a 2200 rpm	360HP	03/01/2011	Red Vial Cusco

Fuente: Empresa en estudio

3.3.1. Muestra de la investigación

En esta investigación resultó posible estudiar cada uno de los elementos que componen la población, por lo que se consideraron todos los camiones volquetes que componen la flota, lo que llevó como resultado que la población fuera igual a la muestra,

llevándose a cabo lo que se denomina como “censo”, o también llamada “muestra exhaustiva”.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las Técnicas e Instrumentos de recolección de datos utilizados en esta investigación fueron:

a) Revisión Bibliográfica

Esta técnica permitió extraer información relacionada con el tema a investigar por medio de diversas fuentes como libros, trabajos de grado y publicaciones de Internet.

b) Consultas Académicas

Se realizaron consultas a la asesora de tesis, con el fin de obtener orientación, establecer los parámetros de estudio y definir los pasos a seguir para el desarrollo del proyecto.

c) Información Histórica

Se utiliza el Módulo de Mantenimiento de planta del ERP-SAP como fuente de información de la data histórica de fallas y paradas de equipos, así como los tiempos de operación de los equipos en el proyecto en estudio, con el objeto de analizar el comportamiento y la confiabilidad que ofrecen los mismos.

d) Software: Stat Fit, Minitab, Matlab

Los software empleados para la recolección de datos fueron:

Minitab; se utilizó para obtener los gráficos del Análisis de Pareto de Costos y tiempos con el fin de determinar la flota de equipos y el tipo de mantenimiento a los cuales se destinan mayores recursos.

Stat Fit; se utilizó para realizar el análisis de fallas de los camiones volquetes.

Matlab; se utilizó para diagramar el comportamiento de la función de confiabilidad y de la tasa de riesgos del sistema camión volquete.

3.5. Procedimiento

Para poder cumplir con los objetivos planteados en este estudio se realizaron una serie de pasos que permitieron la obtención de la información necesaria; estos son los siguientes:

- 1) Inducción al área de Mantenimiento de la Gerencia de Equipos, para conocer la realidad de los ejemplares estudiados.
- 2) Definición y formulación del problema; considerando todas las dificultades que se presentan al momento de ejecutar las operaciones por los equipos en estudio.
- 3) Revisión y análisis de las fuentes de información para la formulación del marco teórico.
- 4) Planificación del proceso de investigación.
- 5) Recolección de información técnica de los componentes internos del camión volquete.
- 6) Se analizó la disponibilidad y confiabilidad de los camiones volquetes.
- 7) Se realizó un análisis estadístico en función de las fallas y demoras presentadas por los equipos.
- 8) Búsqueda de los componentes principales en donde se producen las fallas más frecuentes, además de la entidad que realiza el Mantenimiento (Mecánico, Soldador, Electricista, etc.).
- 9) Aplicación de la teoría de confiabilidad para proponer una nueva frecuencia de mantenimiento que mejore el tiempo de operatividad.
- 10) Simulación del escenario real.
- 11) Simulación del escenario propuesto, con la nueva frecuencia de mantenimiento.
- 12) Simulación de escenarios adicionales en base a la disponibilidad de recursos.
- 13) Elaboración y revisión de resultados.

A continuación, la Figura 15 muestra los pasos realizados en la aplicación de la teoría de confiabilidad.

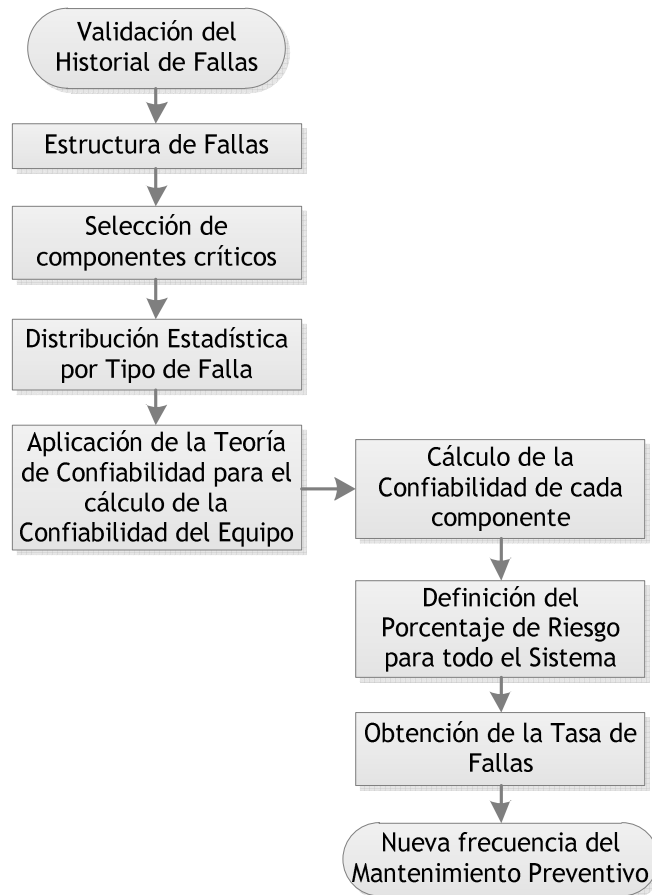


Figura 15. Aplicación de la teoría de confiabilidad en la flota de camiones volquetes

Fuente: *Elaboración propia*

Además, la Figura 16 muestra los pasos realizados para la realización de la simulación.

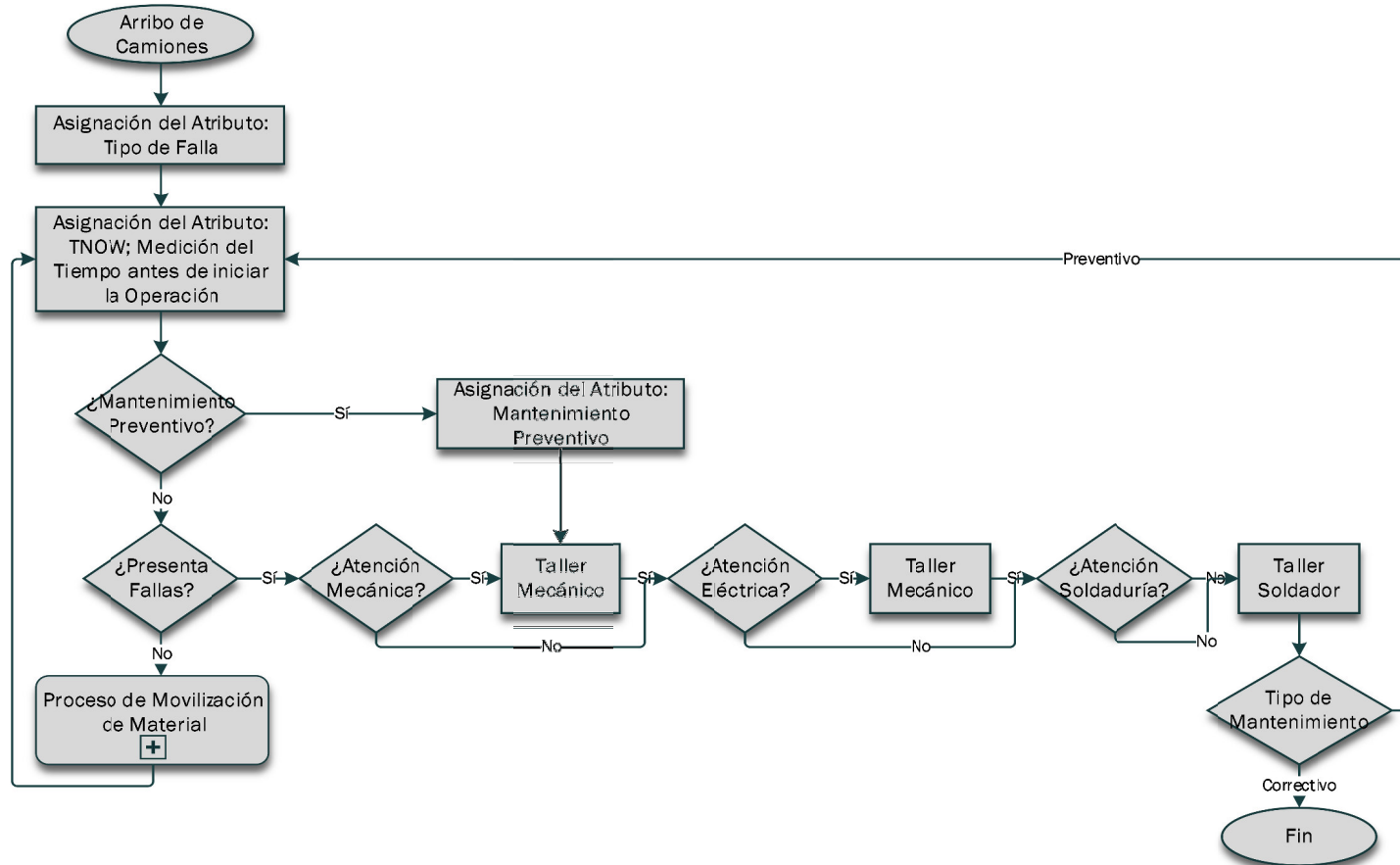


Figura 16. Simulación de la flota de camiones volquetes
 Fuente: Elaboración propia

3.6. Procesamiento de datos

3.6.1. Estructura de fallas

A continuación se muestra el análisis de fallas realizado a los camiones volquetes, iniciando con la evaluación de costos en mantenimiento correctivo asociado a sus componentes.

Se puede observar a través de la Figura 17 que el 30.8% de las fallas que presenta el equipo pertenecen al subsistema eléctrico y arranque, seguidas por el subsistema bastidor con un 23.8%, en tercer lugar se encuentra el subsistema de dirección y frenado con un 13.4%, el cuarto lugar lo ocupa el subsistema motor básico con un 9.5%, y el quinto lugar lo ocupa el subsistema de tolva con un 9.1%; estas ocasionan el 86.6% de las fallas totales.

Es por este motivo se decidió estudiar estos 5 componentes para el desarrollo del análisis de fallas.

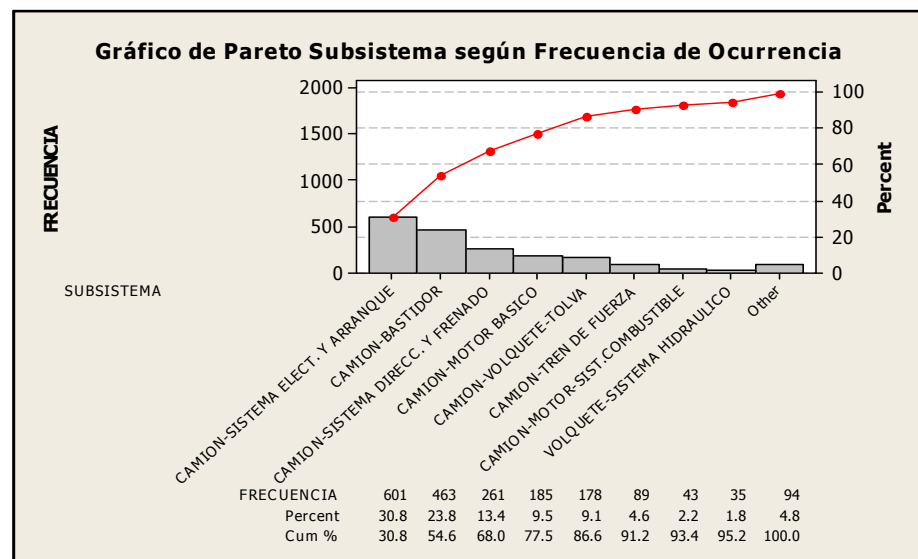


Figura 17. Gráfico de Pareto de cantidad de fallas por tipo de fallas

Fuente: Módulo de Mantenimiento de Planta - SAP

Por lo que el ranking de componentes con mayor frecuencia de presentar fallas es:

Tabla 13

Ranking de componentes de camión volquete con mayor frecuencia de fallas

COMPONENTE
SUBSISTEMA ELECTRICO Y ARRANQUE
SUBSISTEMA BASTIDOR
SUBSISTEMA DIRECCION Y FRENADO
SUBSISTEMA MOTOR BASICO
SUBSISTEMA TOLVA

Fuente: Data Módulo de Mantenimiento de Planta – SAP

De la Figura 18 se puede observar que el componente subsistema eléctrico y arranque ocasiona el 35.3% del tiempo total destinado a la intervención del equipo, el componente bastidor ocasiona el 27.7%, el componente subsistema de dirección y frenado ocasiona el 15.5%, y juntas representan aproximadamente el 80% de las demoras presentadas por el camión volquete.

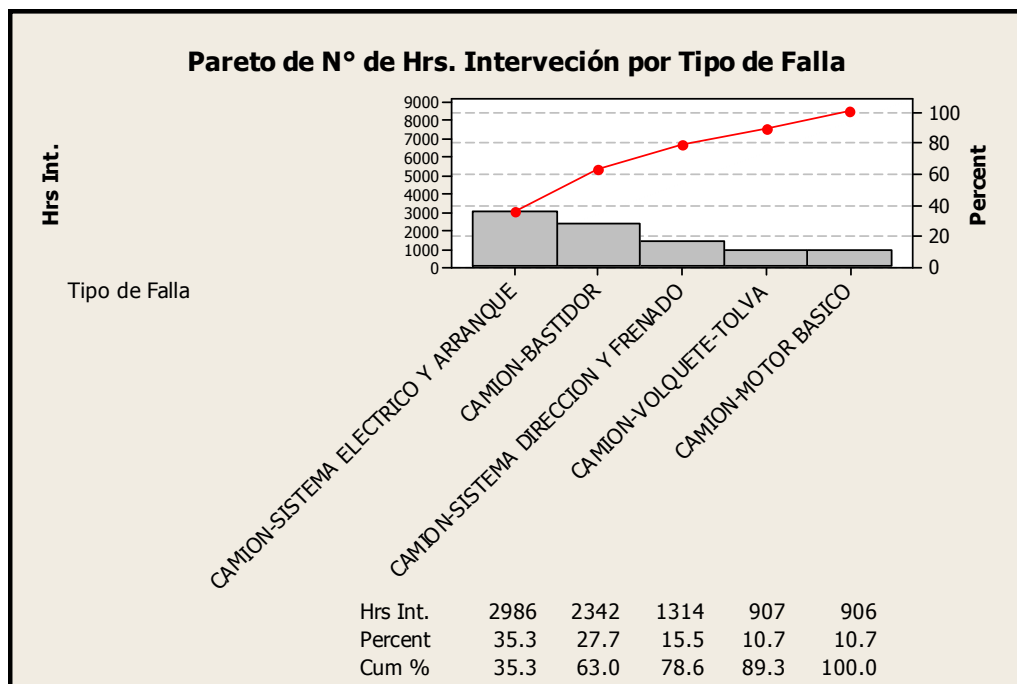


Figura 18. Gráfico de Pareto tiempo de demoras por tipo de fallas

Fuente: Módulo de Mantenimiento de Planta - SAP

El siguiente paso es realizar un histograma de frecuencia para el tiempo de duración de las fallas, es decir, los tiempos de demora originados por las acciones de mantenimiento correctivo y los tiempos entre cada falla del equipo.

En la Figura 19 se puede apreciar que el 28.4% de las actividades de mantenimiento correctivo son realizadas en un tiempo aproximado de 7 horas y que el 72.3% de estas son ejecutadas en un tiempo no menor de 5 horas aproximadamente. Esto indica que la mayor parte de las fallas ocurridas en el camión volquete reparadas por el personal de la gerencia de equipos en los proyectos, es atendida ineficientemente, pues toman en reparar aproximadamente una jornada de trabajo completa.

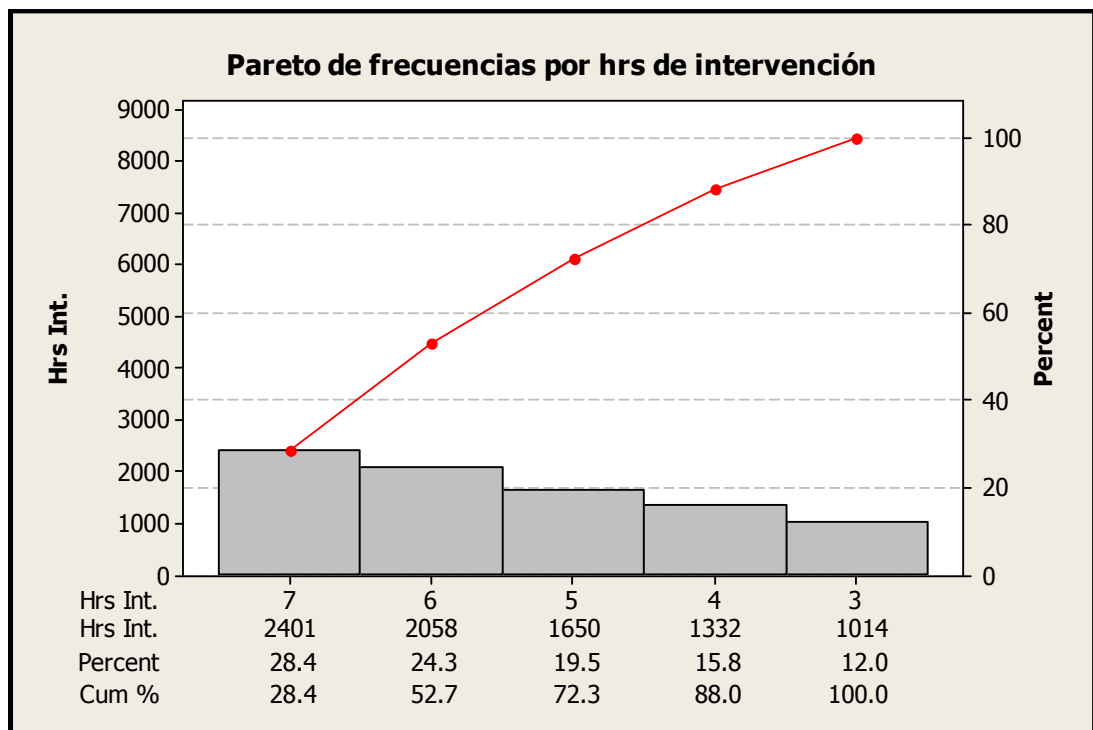


Figura 19. Histograma de Frecuencia Tiempo de Demoras de Mantenimiento Correctivo

Fuente: Módulo de Mantenimiento de Planta - SAP

La Tabla 14 refleja el comportamiento de los tiempos en que se presentan las fallas, el cual indica que el 60% se presentan en un tiempo menor a 413 horas. El Rango en donde se presentan más fallas es el de 139 a 276 horas.

Tabla 14
Histograma de Frecuencia Tiempo de Mantenimiento

ai	bi	N°	fi	Fi	Media
1	139	157	7%	7%	69
139	276	738	35%	43%	207
276	413	347	17%	59%	344
413	550	64	3%	62%	481
550	687	106	5%	67%	618
687	824	15	1%	68%	755
824	961	38	2%	70%	892
961	1,098	45	2%	72%	1,029
1,098	1,235	137	7%	79%	1,166
1,235	1,372	285	14%	92%	1,303
1,372	1,509	120	6%	98%	1,440
1,509	1,652	42	2%	100%	1,580
N =		2,094			

Fuente: Módulo de Mantenimiento de Planta – SAP

La Figura 20 refleja el comportamiento de la frecuencia de fallas, es notorio que las fallas se presentan con mayor frecuencia a partir de las 854 horas de operación aproximadamente.

Existe una probabilidad del 90% de que el equipo presente alguna falla pasadas las 1,303horas.

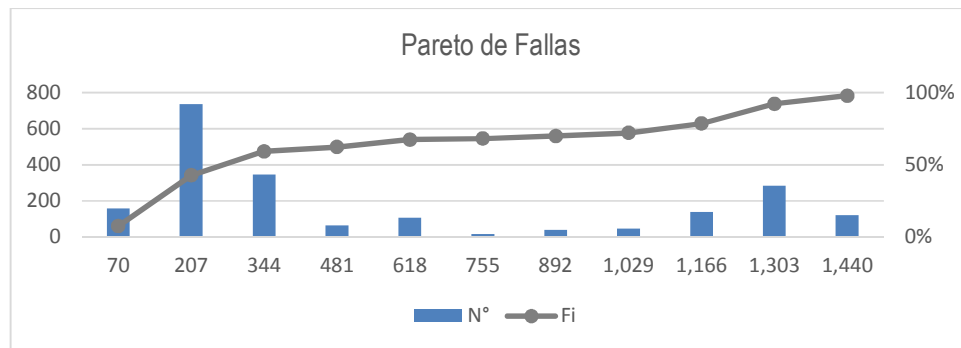


Figura 20. *Histograma de Frecuencia Tiempo de Demoras de Mantenimiento*

Fuente: Módulo de Mantenimiento de Planta - SAP

El Tiempo Promedio entre fallas es:

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{horas de operación del camión } i)}{\sum_{i=1}^n (N^{\circ} \text{ paradas correctivas del camión } i)} = \frac{383193}{2094} = 182.995702 \approx 183 \text{ hrs}$$

En la Figura 21 se presenta el desempeño del indicador más importante de la gerencia de equipos; la disponibilidad mecánica operativa, la cual refleja el porcentaje de tiempo en el cual la máquina puede realizar operaciones sin aparición de fallas.

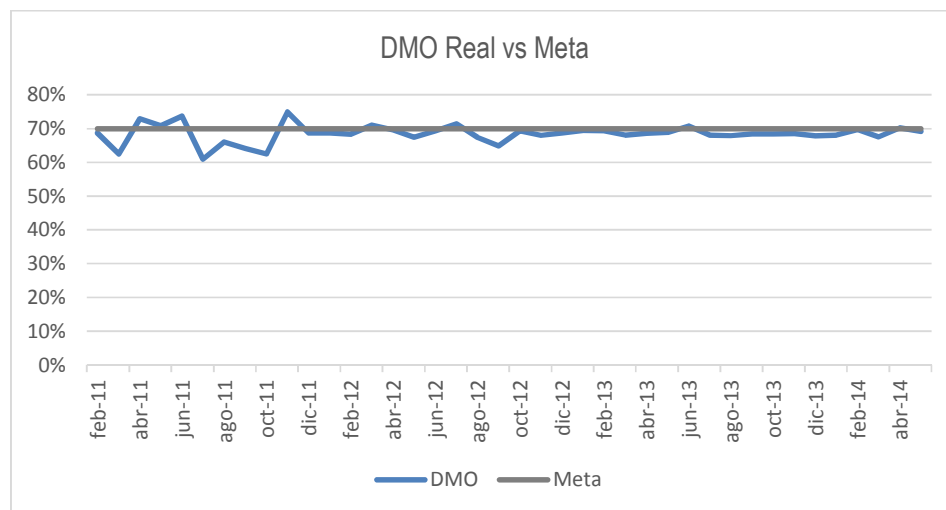


Figura 21. Disponibilidad Mecánica Operativa vs Meta

Fuente: Módulo de Mantenimiento de Planta - SAP

Como se refleja, la flota de camiones volquetes no cumple en un 100% con las exigencias de disponibilidad mecánica operativa propuesta por año.

Debido a la criticidad de los camiones volquetes en cuanto al cumplimiento de los requerimientos de disponibilidad, es necesario realizar una mejora a los tiempos de operatividad, enfocado a los tiempos de intervención destinados al mantenimiento preventivo esto conlleva a la aplicación de la teoría de confiabilidad y a la propuesta de un escenario de este en un sistema simulado.

3.6.2. Sistema de fallas

De acuerdo al análisis de fallas se determinaron los sistemas críticos del camión volquete.

Tabla 15
Estructura de Fallas del Camión Volquete

COMPONENTE	SINTOMA FRECUENTE DE FALLA	SOLUCION	RECURSO
BASTIDOR	ROTURA FISION EN BASTIDOR DE VOLQUETE	SOLDADURA Y PLANCHADO	MECÁNICO, SOLDADOR
SUBSISTEMA ELECTRICO Y ARRANQUE	PROBLEMAS EN LA BATERIA	CAMBIO DE BATERIA	ELECTRICISTA
TOLVA	GANCHOS DE COMPUERTA DESOLDADOS	SOLDADURA	SOLDADOR
MOTOR BASICO	DESGASTE DE VALVULA SELENOIDE	CAMBIO DE VALVULA	MECANICO
SUBSISTEMA DIRECCION Y FRENADO	PERNO CENTRO DE MUELLE POSTERIOR ROTO	CAMBIO DE PERNO	MECANICO

Fuente: Elaboración Propia

3.6.3. Datos estadísticos del comportamiento de fallas

La data que corresponde a los tiempos de falla de los componentes críticos señalados en la Tabla 13 líneas arriba, fueron analizados mediante el INPUT ANALYZER del Software ARENA, versión estudiantil.

La Tabla 16 muestra el resumen de las distribuciones de probabilidad halladas con el Software ARENA.

Tabla 16
Resumen de Distribuciones de Probabilidad

COMPONENTE	DISTRIBUCIÓN	EXPRESIÓN	ERROR
BASTIDOR	Weibull	2 + WEIB(193 , 1.24)	0.019389
SUBSISTEMA DIRECCIÓN Y FRENADO	Normal	61 + WEIB(158 , 1.27)	0.054554
SUBSISTEMA ELÉCTRICO Y ARRANQUE	Weibull	1 + WEIB(235 , 1.52)	0.039334
MOTOR BÁSICO	Normal	2 + WEIB(211 , 1.75)	0.094772
TOLVA	Weibull	2+ WEIB(217 , 1.4)	0.025056

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se muestra a detalle el análisis realizado por el software, en cada componente crítico.

a) Componente bastidor

El componente Bastidor posee una ocurrencia de fallas (en horas) ajustada a una distribución Weibull. La Figura 22 muestra el análisis estadístico realizado por el Input Analyzer.

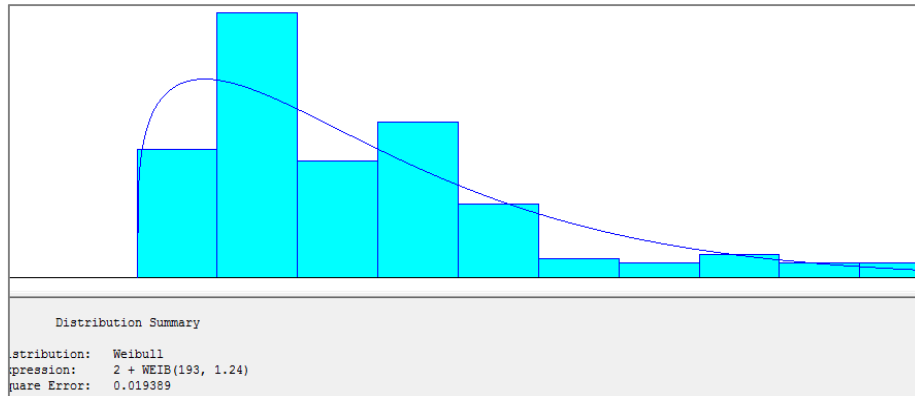


Figura 22. Distribución de tiempos de falla del componente bastidor

Fuente: Input Analyzer-Software Arena, versión estudiantil

b) Componente subsistema de dirección y frenado

El componente subsistema de dirección y frenado posee una ocurrencia de fallas (en horas) ajustada a una distribución Weibull. La Figura 23 muestra el análisis estadístico realizado por el Input Analyzer.

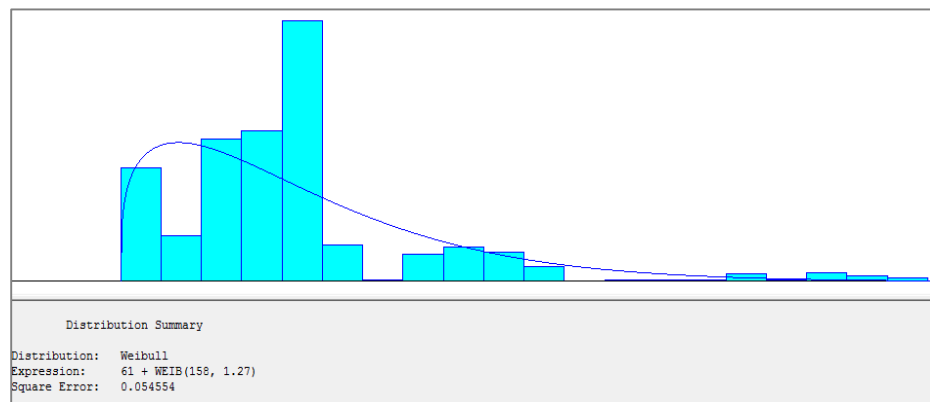


Figura 23. Distribución de tiempos de falla del componente sistema dirección y frenado

Fuente: Input Analyzer-Software Arena, versión estudiantil

c) Componente subsistema eléctrico y arranque

El componente subsistema eléctrico y arranque posee una ocurrencia de fallas (en horas) ajustada a una distribución Weibull. La Figura 24 muestra el análisis estadístico realizado por el Input Analyzer.

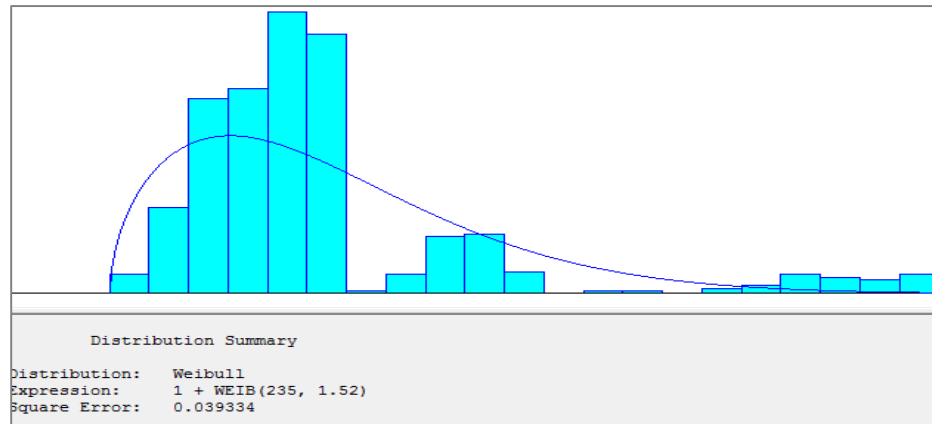


Figura 24. Distribución de tiempos de falla del componente subsistema eléctrico y de arranque

Fuente: Input Analyzer-Software Arena, versión estudiantil

d) Componente motor básico

El Componente motor básico posee una ocurrencia de fallas (en horas) ajustada a una distribución Weibull. La Figura 25 muestra el análisis estadístico realizado por el Input Analyzer.

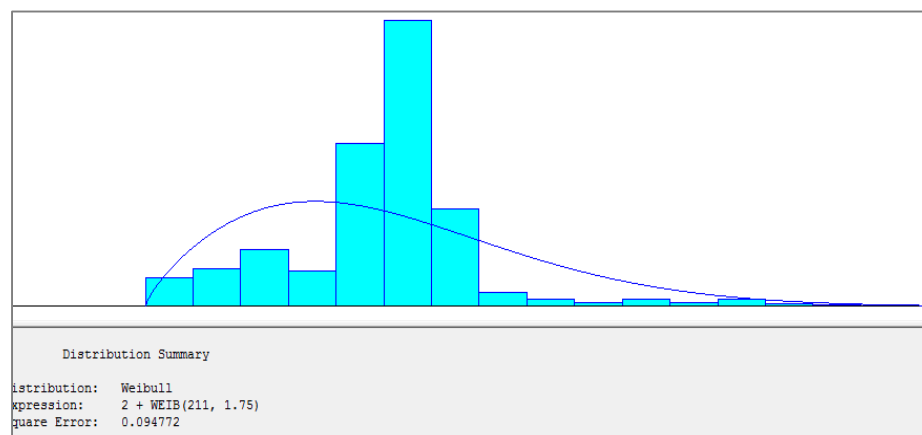


Figura 25. Distribución de tiempos de falla del componente motor básico

Fuente: Input Analyzer-Software Arena, versión estudiantil

e) Componente tolva

El componente tolva posee una ocurrencia de fallas (en horas) ajustada a una distribución Weibull. La Figura 26 muestra el análisis estadístico realizado por el Input Analyzer.

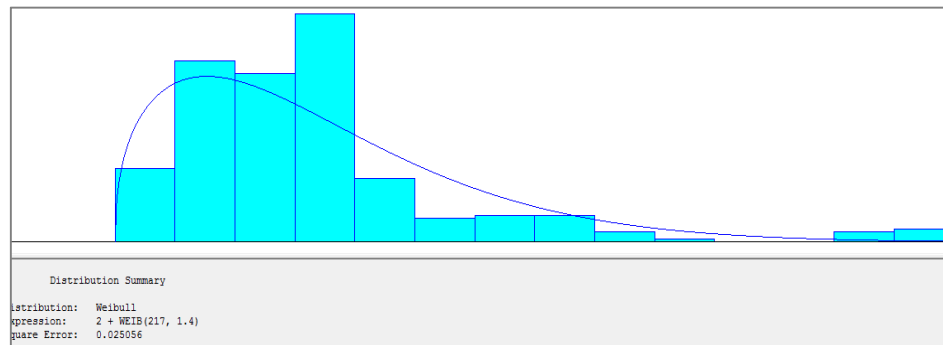


Figura 26. Distribución de tiempos de falla del componente tolva

Fuente: Input Analyzer-Software Arena, versión estudiantil

3.6.4. Datos estadísticos del proceso y atención en talleres

Se analizó el comportamiento de los procesos principales en la operación realizada por los camiones volquetes, así como el tiempo que permanecen en los talleres de reparación, mediante el Input Analyzer del Software ARENA, versión estudiantil.

Se observó:

El proceso de movilización de material realizado por los camiones volquetes posee la siguiente distribución:

$$Norm(34.9, 12.4)$$

Además los tiempos de atención se caracterizan por las distribuciones señaladas en la Tabla 17.

Tabla 17
Resumen de distribuciones de probabilidad de tiempos de atención

SERVICIO POR TIPO DE ATENCIÓN	TALLER MECÁNICO	TALLER ELÉCTRICO	TALLER DE SOLDADURA
BASTIDOR	Norm(4.94 , 0.842)	-	1+ Weib(4.13 , 2.15)
SUBSISTEMA DIRECCIÓN Y FRENADO	Norm(6.16 , 2.21)	-	-
SUBSISTEMA ELÉCTRICO Y ARRANQUE	-	Norm(6.69 , 2.42)	-
MOTOR BÁSICO	Norm(6.92 , 2.44)	-	-
TOLVA	-	-	Norm(7.12 , 2.46)
MANTENIMIENTO PREVENTIVO	Norm(45.8/60 , 7.87/60)	Gamm(4.83 , 5.19)	Norm(19.9 , 6.34)

Fuente: Elaboración Propia

El análisis realizado a cada operación se detalla a continuación.

3.6.4.1. Proceso de movilización de material

El proceso de movilización de material realizado por los camiones volquetes posee un tiempo de realización (en minutos) ajustado a una distribución Normal. La Figura 27 muestra el análisis estadístico realizado por el Input Analyzer.

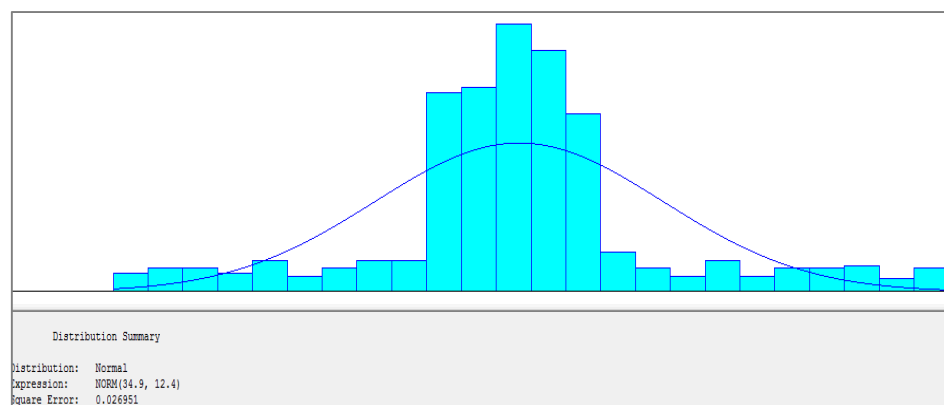


Figura 27. Distribución del tiempo de duración en el proceso de movilización de material

Fuente: Input Analyzer-Software Arena, versión estudiantil

3.6.4.2. Atención en talleres

a) Atención del taller mecánico

El servicio brindado por el taller mecánico abarca las intervenciones por mantenimiento correctivo y preventivo de todos los componentes mecánicos de los equipos.

a.1) Mantenimiento correctivo

Los tiempos destinados en la atención del mantenimiento correctivo en el taller mecánico serán analizados por tipo de componente.

a.1.1) Componente bastidor

La atención (en horas) de mantenimiento correctivo del componente bastidor de los camiones volquetes realizados en el taller mecánico posee una distribución semejante a la distribución Normal. La Figura 28 muestra el análisis estadístico realizado por el Input Analyzer.

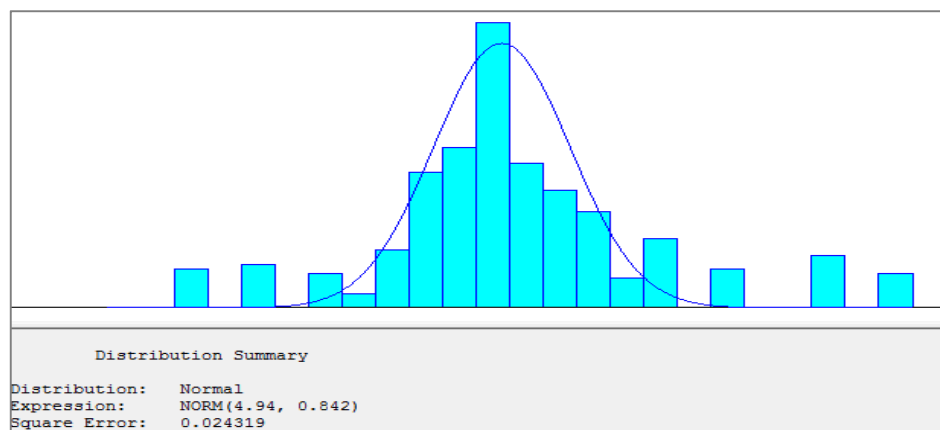


Figura 28. Distribución del tiempo de duración en el mantenimiento correctivo del componente bastidor realizado en el taller mecánico

Fuente: Input Analyzer-Software Arena, versión estudiantil

a.1.2) Componente subsistema de dirección y frenado

La atención (en horas) de mantenimiento correctivo del componente subsistema de dirección y frenado de los camiones volquetes realizados en el taller mecánico posee una distribución semejante a la distribución Normal. La Figura 29 muestra el análisis estadístico realizado por el Input Analyzer.

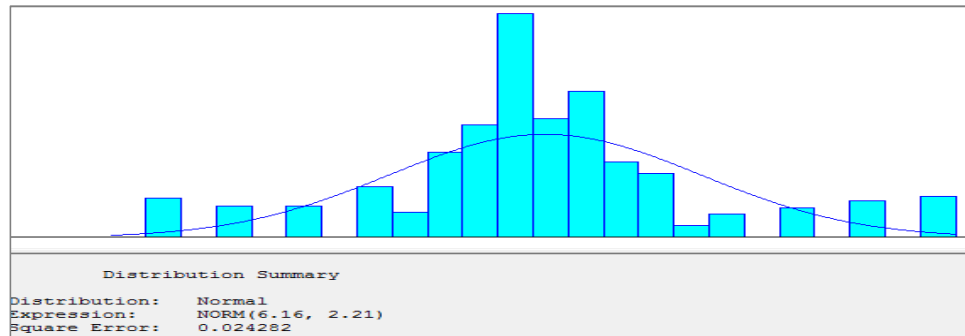


Figura 29. Distribución del tiempo de duración en el mantenimiento correctivo del componente sistema de dirección y frenado realizado en el taller mecánico

Fuente: Input Analyzer-Software Arena, versión estudiantil

a.1.3) Componente motor básico

La atención (en horas) de mantenimiento correctivo del componente motor básico de los camiones volquetes realizados en el taller mecánico posee una distribución semejante a la distribución Normal. La Figura 30 muestra el análisis estadístico realizado por el Input Analyzer.

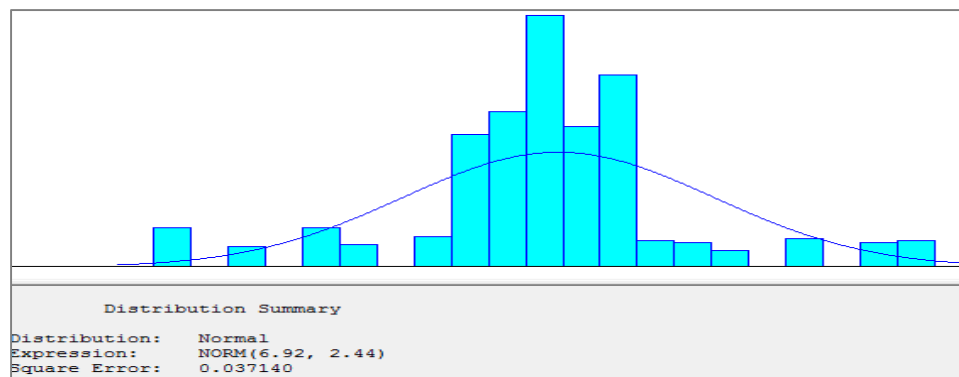


Figura 30. Distribución del tiempo de duración en el mantenimiento correctivo del componente motor básico realizado en el taller mecánico

Fuente: Input Analyzer-Software Arena, versión estudiantil

a.2) Mantenimiento Preventivo

La atención (en horas) de mantenimiento preventivo de los camiones volquetes realizados en el taller mecánico posee una distribución semejante a la distribución Normal. La Figura 31 muestra el análisis estadístico realizado por el Input Analyzer.

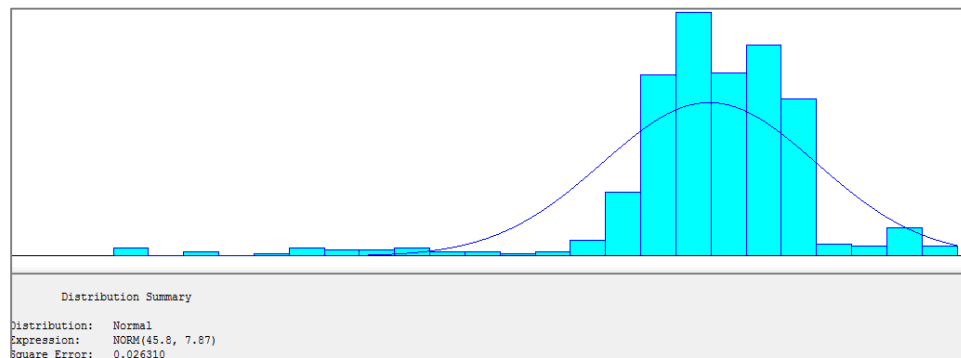


Figura 31. Distribución del tiempo de duración en el mantenimiento preventivo del camión volquete realizado en el taller mecánico

Fuente: Input Analyzer-Software Arena, versión estudiantil

b) Atención del taller eléctrico

El servicio brindado por el taller eléctrico abarca las intervenciones por mantenimiento correctivo y preventivo de todos los componentes eléctricos de los equipos.

b.1) Mantenimiento correctivo

Los tiempos destinados en la atención del mantenimiento correctivo en el taller eléctrico serán analizados por tipo de componente.

b.1.1) Componente subsistema eléctrico y arranque

La atención (en horas) de mantenimiento correctivo del componente subsistema eléctrico y arranque de los camiones volquetes realizados en el taller eléctrico posee una distribución semejante a la distribución Normal. La Figura 32 muestra el análisis estadístico realizado por el Input Analyzer.

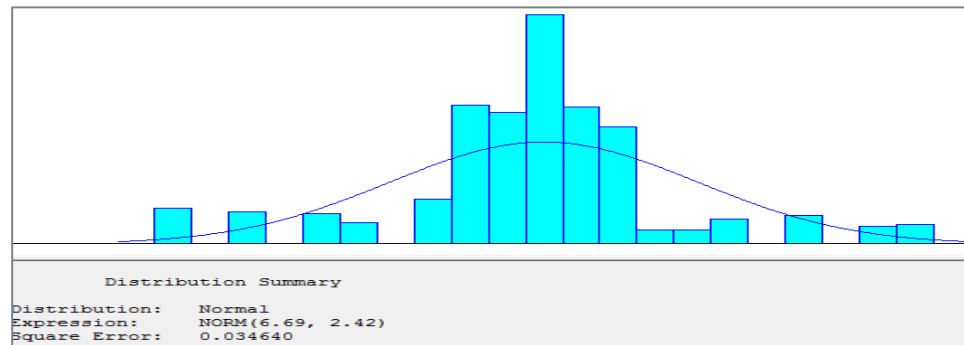


Figura 32. Distribución del tiempo de duración en el mantenimiento correctivo del componente subsistema eléctrico y arranque realizado en el taller eléctrico

Fuente: Input Analyzer-Software Arena, versión estudiantil

b.2) Mantenimiento preventivo

La atención (en horas) de mantenimiento preventivo de los camiones volquetes realizados en el taller eléctrico posee una distribución semejante a la distribución Gamma. La Figura 33 muestra el análisis estadístico realizado por el Input Analyzer.

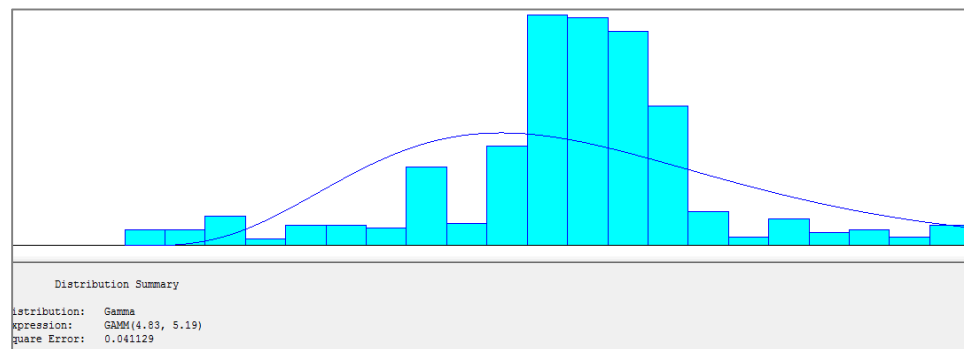


Figura 33. Distribución del tiempo de duración en el mantenimiento preventivo del camión volquete realizado en el taller eléctrico

Fuente: Input Analyzer-Software Arena, versión estudiantil

c) Atención del taller de soldadura

El servicio brindado por el taller de soldadura abarca las intervenciones por mantenimiento correctivo y preventivo de todos los componentes a soldar, de los equipos.

c.1) Mantenimiento correctivo

Los tiempos destinados en la atención del mantenimiento correctivo en el taller de soldadura serán analizados por tipo de componente.

c.1.1) Componente bastidor

La atención (en horas) de mantenimiento correctivo del componente bastidor de los camiones volquetes realizados en el taller de soldadura posee una distribución semejante a la distribución Weibull. La Figura 34 muestra el análisis estadístico realizado por el Input Analyzer.

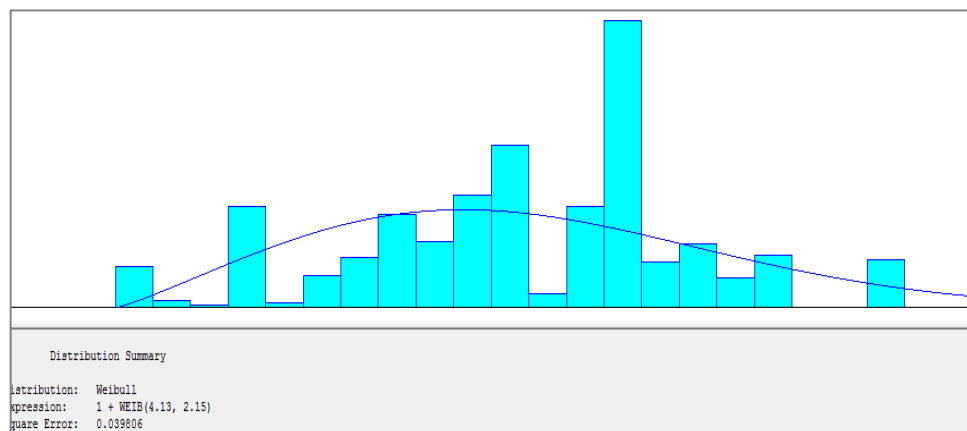


Figura 34. Distribución del tiempo de duración en el mantenimiento correctivo del componente bastidor realizado en el taller de soldadura

Fuente: Input Analyzer-Software Arena, versión estudiantil

c.1.2) Componente tolva

La atención (en horas) de mantenimiento correctivo del componente tolva de los camiones volquetes realizados en el taller de soldadura posee una distribución semejante a la distribución Normal. La Figura 35 muestra el análisis estadístico realizado por el Input Analyzer.

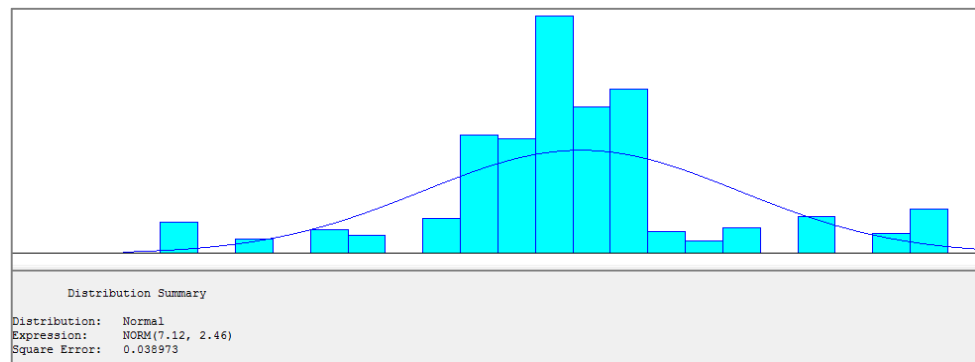


Figura 35. Distribución del tiempo de duración en el mantenimiento correctivo del componente tolva realizado en el taller de soldadura

Fuente: Input Analyzer-Software Arena, versión estudiantil

c.2) Mantenimiento Preventivo

La atención (horas) del mantenimiento preventivo de los camiones volquetes realizados en el taller de soldadura posee una distribución semejante a la distribución Normal. La Figura 36 muestra el análisis estadístico realizado por el Input Analyzer.

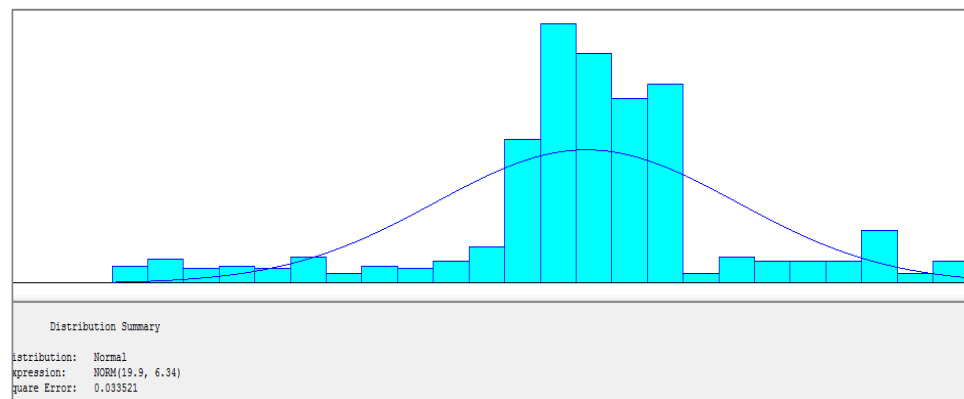


Figura 36. Distribución del tiempo de duración en el mantenimiento preventivo del camión volquete realizado en el taller de soldadura

Fuente: Input Analyzer-Software Arena, versión estudiantil

3.7. Aplicación de la teoría de confiabilidad

Teniendo las distribuciones a las cuales se asemejan la llegada de las fallas de los componentes principales:

Tabla 16
Resumen de Distribuciones de Probabilidad

COMPONENTE	DISTRIBUCIÓN	EXPRESIÓN	ERROR
BASTIDOR	Weibull	2 + WEIB(193 , 1.24)	0.019389
SUBSISTEMA DIRECCIÓN Y FRENADO	Normal	61 + WEIB(158 , 1.27)	0.054554
SUBSISTEMA ELÉCTRICO Y ARRANQUE	Weibull	1 + WEIB(235 , 1.52)	0.039334
MOTOR BÁSICO	Normal	2 + WEIB(211 , 1.75)	0.094772
TOLVA	Weibull	2+ WEIB(217 , 1.4)	0.025056

Fuente: Elaboración Propia

Procedemos a aplicar la teoría de confiabilidad a los componentes críticos, para luego hallar la confiabilidad de todo el sistema “camión volquete”.

3.7.1. Análisis de confiabilidad a los componentes

Procedemos a aplicar la teoría de confiabilidad a los componentes.

a) Componente bastidor

El comportamiento de las fallas en el componente bastidor posee una distribución Weibull de dos parámetros, por lo que se aplicó la teoría de confiabilidad concerniente a esta distribución, para calcular la función de confiabilidad, función de riesgo y la vida media.

Teniendo como parámetros conocidos gracias al análisis realizado mediante el Input Analyzer:

$$\beta=1.24$$

$$n=193$$

-Función de densidad:

$$f(t) = 2 + \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta}} = 2 + \frac{1.24}{193} \left(\frac{t}{193} \right)^{0.24} e^{-\left(\frac{t}{193} \right)^{1.24}}$$

-Distribución de probabilidad:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta}} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{193} \right)^{1.24}}$$

-Función de confiabilidad:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta}} = e^{-\left(\frac{t}{193} \right)^{1.24}}$$

-Función de riesgo:

$$h(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} = \frac{1.24}{193} \left(\frac{t}{193} \right)^{1.24-1} = \frac{1.24}{193} \left(\frac{t}{193} \right)^{0.24}$$

-La vida media:

$$E(T) = \eta \Gamma(1 + 1/\beta) = 193 \Gamma(1 + 1/1.24) = 193 \Gamma(1.806451613)$$

$$E(T) = 193 * \Gamma(1.806451613) = 193 * \left(\frac{806451613}{1000000000} \right)! = 193 * 0.9331121289$$

$$E(T) = 180.0906409 \text{ hrs}$$

-Tiempo promedio entre fallas (MTBF):

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{horas de operación})}{\sum_{i=1}^n (N^{\circ} \text{paradas correctivas})} = \frac{102052}{463} = 220.415 \approx 220 \text{ hrs}$$

b) Componente subsistema de dirección y frenado

El comportamiento de las fallas en el componente subsistema de dirección y frenado posee una distribución Weibull de dos parámetros, por lo que se aplicó la teoría de confiabilidad concerniente a esta distribución, para calcular la función de confiabilidad, función de riesgo y la vida media.

Teniendo como parámetros conocidos gracias al análisis realizado mediante el Input Analyzer:

$$\beta = 1.27$$

$$n = 158$$

-Función de densidad:

$$f(t) = 61 + \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta}} = 61 + \frac{1.27}{158} \left(\frac{t}{158} \right)^{0.27} e^{-\left(\frac{t}{158} \right)^{1.27}}$$

-Distribución de probabilidad:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta}} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{158} \right)^{1.27}}$$

-Función de confiabilidad:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta}} = e^{-\left(\frac{t}{158} \right)^{1.27}}$$

-Función de riesgo:

$$h(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} = \frac{1.27}{158} \left(\frac{t}{158} \right)^{1.27-1} = \frac{1.27}{158} \left(\frac{t}{158} \right)^{0.27}$$

-La vida media:

$$E(T) = \eta \Gamma(1 + 1/\beta) = 158 \Gamma(1 + 1/1.27) = 158 \Gamma(1.787401575)$$

$$E(T) = 158 * \Gamma(1.787401575) = 158 * \left(\frac{31496063}{40000000} \right)! = 158 * 0.9281001289$$

$$E(T) = 146.6398204 \text{ hrs}$$

-Tiempo promedio entre fallas (MTBF):

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{horas de operación})}{\sum_{i=1}^n (N^{\circ} \text{paradas correctivas})} = \frac{102052}{261} = 391.003 \approx 391 \text{ hrs}$$

c) Componente subsistema eléctrico y de arranque

El comportamiento de las fallas en el componente subsistema eléctrico y de arranque posee una distribución Weibull de dos parámetros, por lo que se aplicó la teoría de confiabilidad concerniente a esta distribución, para calcular la función de confiabilidad, función de riesgo y la vida media.

Teniendo como parámetros conocidos gracias al análisis realizado mediante el Input Analyzer:

$$\beta = 1.52$$

$$n = 235$$

-Función de densidad:

$$f(t) = 1 + \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} = 1 + \frac{1.52}{235} \left(\frac{t}{235} \right)^{0.52} e^{-\left(\frac{t}{235}\right)^{1.52}}$$

-Distribución de probabilidad:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{235}\right)^{1.52}}$$

-Función de confiabilidad:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{t}{235}\right)^{1.52}}$$

-Función de riesgo:

$$h(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} = \frac{1.52}{235} \left(\frac{t}{235}\right)^{1.52-1} = \frac{1.52}{235} \left(\frac{t}{235}\right)^{0.52}$$

-La vida media:

$$E(T) = \eta \Gamma(1 + 1/\beta) = 235 \Gamma(1 + 1/1.52) = 235 \Gamma(1.657894737)$$

$$E(T) = 235 * \Gamma(1.657894737) = 235 * 0.657894737! = 235 * 0.9013353584$$

$$E(T) = 211.8138091 \text{ hrs}$$

-Tiempo promedio entre fallas (MTBF):

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{horas de operación})}{\sum_{i=1}^n (N^\circ \text{ paradas correctivas})} = \frac{102052}{601} = 169.803 \approx 170 \text{ hrs}$$

d) Componente motor básico

El comportamiento de las fallas en el componente motor básico posee una distribución Weibull de dos parámetros, por lo que se aplicó la teoría de confiabilidad concerniente a esta distribución, para calcular la función de confiabilidad, función de riesgo y la vida media.

$$\beta=1.75$$

$$n=211$$

-Función de densidad:

$$f(t) = 2 + \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = 2 + \frac{1.75}{211} \left(\frac{t}{211}\right)^{0.75} e^{-\left(\frac{t}{211}\right)^{1.75}}$$

-Distribución de probabilidad:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{211}\right)^{1.75}}$$

-Función de confiabilidad:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{t}{211}\right)^{1.75}}$$

-Función de riesgo:

$$h(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} = \frac{1.75}{211} \left(\frac{t}{211}\right)^{1.75-1} = \frac{1.75}{211} \left(\frac{t}{211}\right)^{0.75}$$

-La vida media:

$$E(T) = \eta \Gamma(1 + 1/\beta) = 211 \Gamma(1 + 1/1.75) = 211 \Gamma(1.571428571)$$

$$E(T) = 211 * \Gamma(1.571428571) = 211 * 0.571428571! = 211 * 0.9013353584$$

$$E(T) = 190.1817605 \text{ hrs}$$

-Tiempo promedio entre fallas (MTBF):

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{horas de operación})}{\sum_{i=1}^n (N^\circ \text{ paradas correctivas})} = \frac{102052}{185} = 551.632 \approx 557 \text{ hrs}$$

e) Componente tolva

El comportamiento de las fallas en el componente tolva posee una distribución Weibull de dos parámetros, por lo que se aplicó la teoría de confiabilidad concerniente a esta distribución, para calcular la función de confiabilidad, función de riesgo y la vida media.

$$\beta=1.4$$

$$n=217$$

-Distribución de densidad:

$$f(t) = 2 + \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = 2 + \frac{1.4}{217} \left(\frac{t}{217}\right)^{0.4} e^{-\left(\frac{t}{217}\right)^{1.4}}$$

-Distribución acumulada:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{217}\right)^{1.4}}$$

-Función de confiabilidad:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{t}{217}\right)^{1.4}}$$

-Función de riesgo:

$$h(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} = \frac{1.4}{217} \left(\frac{t}{217}\right)^{1.4-1} = \frac{1.4}{217} \left(\frac{t}{217}\right)^{0.4}$$

-La vida media:

$$E(T) = \eta \Gamma(1 + 1/\beta) = 217 \Gamma(1 + 1/1.4) = 217 \Gamma(1.714285714)$$

$$E(T) = 217 * \Gamma(1.71428574) = 217 * \left(\frac{357142857}{500000000}\right)! = 217 * 0.9114233396$$

$$E(T) = 197.7788647 \text{ hrs}$$

-Tiempo promedio entre fallas (MTBF):

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{horas de operación})}{\sum_{i=1}^n (N^\circ \text{ paradas correctivas})} = \frac{102052}{178} = 573.325 \approx 573 \text{ hrs}$$

3.7.2. Análisis de confiabilidad al sistema camión volquete

Se aplica la teoría de confiabilidad a todo el sistema “camión volquete”, en base a la confiabilidad de cada componente analizado.

Se sabe que cualquier falla en algún componente del camión volquete desencadenará en el no funcionamiento de este, por lo que la estructura del sistema que conforma el camión volquete se encuentra en serie.



La función estructura es la siguiente:

$$\phi(X) = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5$$

Donde:

x_i representa cada componente, $i = 1, 2, 3, 4, 5$.

La función confiabilidad de todo el sistema “camión volquete” es:

$$R(t) = R_1(t) \cdot R_2(t) \cdot R_3(t) \cdot R_4(t) \cdot R_5(t)$$

Donde:

$R_i(t)$ representa la función confiabilidad de cada componente en un tiempo t ,
 $i = 1, 2, 3, 4, 5$.

Tenemos:

$$R_1(t) = e^{-\left(\frac{t}{193}\right)^{1.24}}$$

$$R_2(t) = 1 - \phi_2\left(\frac{t - 183}{54.3}\right)$$

$$R_3(t) = 1 - \phi_3\left(\frac{t - 196}{66.4}\right)$$

$$R_4(t) = 1 - \phi_4\left(\frac{t - 203}{64.9}\right)$$

$$R_5(t) = e^{-\left(\frac{t}{217}\right)^{1.4}}$$

Luego:

-Función de confiabilidad

$R(t)$; “función de confiabilidad” para todo el sistema es :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{193}\right)^{1.24}} \cdot \left(1 - \phi_2\left(\frac{t - 183}{54.3}\right)\right) \cdot \left(1 - \phi_3\left(\frac{t - 196}{66.4}\right)\right) \cdot \left(1 - \phi_4\left(\frac{t - 203}{64.9}\right)\right) \cdot e^{-\left(\frac{t}{217}\right)^{1.4}}$$

-Distribución acumulada

Procedemos a calcular $F(t)$:

$$F(t) = 1 - R(t)$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{193}\right)^{1.24}} \cdot \left(1 - \phi_2\left(\frac{t-183}{54.3}\right)\right) \cdot \left(1 - \phi_3\left(\frac{t-196}{66.4}\right)\right) \cdot \left(1 - \phi_4\left(\frac{t-203}{64.9}\right)\right) e^{-\left(\frac{t}{217}\right)^{1.4}}$$

-Distribución de densidad

Calculamos $f(t)$:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$$

$$f(t) = \frac{d\left[1 - e^{-\left(\frac{t}{253}\right)^{0.943}} \cdot e^{-\left(\frac{t}{231}\right)^{1.24}} \cdot e^{-\left(\frac{t}{292}\right)^{0.333}} \cdot e^{-\left(\frac{t}{238}\right)^{1.08}} \cdot e^{-\left(\frac{t}{195}\right)^{1.27}}\right]}{dt}$$

-Función de riesgo

Calculamos la tasa de fallas para todo el sistema “camión volquete”.

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

Reemplazando se obtiene:

$$H(t) = 1.27113 * 10^{-55} * t^{0.24} * e^{1.06576 * 10^{-15} * t^{1.75} + 9.22678 * 10^{-14} * t^{1.52} + 4.92446 * 10^{-14} * t^{1.4} + 5.11073 * 10^{-13} * t^{1.27} + 7.81144 * 10^{-14} * t^{1.24} * (1.17855 * 10^{51} * t^{0.51} + 2.97596 * 10^{51} * t^{0.28} + 5.90054 * 10^{51} * t^{0.16} + 1.61182 * 10^{52} * t^{0.03} + 1.42934 * 10^{52})}$$

La Figura 37 muestra el comportamiento de la tasa de fallas del sistema según la función de riesgo, versus la función confiabilidad.

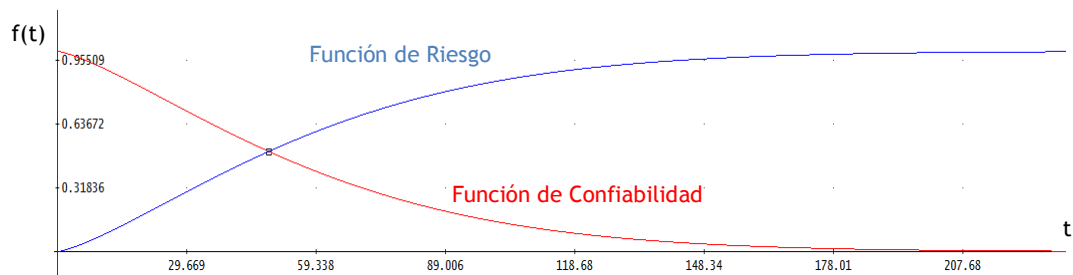


Figura 37. Gráfica del comportamiento de la tasa de fallas vs la confiabilidad del sistema

Fuente: Gráfica de Matlab v. 6.5

De la Figura 37 se puede concluir que mientras el Tiempo tiende a 250 hrs, la tasa de fallas tiende al 100% y la Confiabilidad al 0%.

Dándole valores a la tasa de fallas podemos calcular el tiempo que estime la no sobrevivencia del sistema “camión volquete”, y así anticiparnos a una parada no programada, de esta manera podremos proponer una nueva frecuencia de mantenimiento preventivo más exacta que la actual (la frecuencia actual de mantenimiento preventivo es de 350 horas).

Escenario 1: Si deseamos conocer el tiempo que estime la no sobrevivencia del equipo en un 95%, reemplazamos $H(t)=0.95$ en la función de riesgo del sistema “camión volquete”.

$$H(t) = 1.27113 * 10^{-55} * t^{0.24} * e^{1.06576*10^{-15}*t^{1.75} + 9.22678*10^{-14}*t^{1.52} + 4.92446*10^{-14}*t^{1.4} + 5.11073*10^{-13}*t^{1.27} + 7.81144*10^{-14}*t^{1.24}} * (1.17855 * 10^{51} * t^{0.51} + 2.97596 * 10^{51} * t^{0.28} + 5.90054 * 10^{51} * t^{0.16} + 1.61182 * 10^{52} * t^{0.03} + 1.42934 * 10^{52})$$

Reemplazando $H(t)=0.95$:

$$0.95 = 1.27113 * 10^{-55} * t^{0.24} * e^{1.06576*10^{-15}*t^{1.75} + 9.22678*10^{-14}*t^{1.52} + 4.92446*10^{-14}*t^{1.4} + 5.11073*10^{-13}*t^{1.27} + 7.81144*10^{-14}*t^{1.24}} * (1.17855 * 10^{51} * t^{0.51} + 2.97596 * 10^{51} * t^{0.28} + 5.90054 * 10^{51} * t^{0.16} + 1.61182 * 10^{52} * t^{0.03} + 1.42934 * 10^{52})$$

Se realizan los cálculos y se obtiene:

$$t_i = 201.53$$

Escenario 2: Si deseamos conocer el tiempo que estime la no sobrevivencia del equipo en un 98%, reemplazamos $H(t)=0.98$ en la función de riesgo del sistema “camión volquete”.

$$H(t) = 1.27113 * 10^{-55} * t^{0.24} * e^{1.06576*10^{-15}*t^{1.75} + 9.22678*10^{-14}*t^{1.52} + 4.92446*10^{-14}*t^{1.4} + 5.11073*10^{-13}*t^{1.27} + 7.81144*10^{-14}*t^{1.24}} * (1.17855 * 10^{51} * t^{0.51} + 2.97596 * 10^{51} * t^{0.28} + 5.90054 * 10^{51} * t^{0.16} + 1.61182 * 10^{52} * t^{0.03} + 1.42934 * 10^{52})$$

Reemplazando $H(t)=0.98$:

$$0.98 = 1.27113 * 10^{-55} * t^{0.24} * e^{1.06576 * 10^{-15} * t^{1.75} + 9.22678 * 10^{-14} * t^{1.52} + 4.92446 * 10^{-14} * t^{1.4} + 5.11073 * 10^{-13} * t^{1.27} + 7.81144 * 10^{-14} * t^{1.24} * (1.17855 * 10^{51} * t^{0.51} + 2.97596 * 10^{51} * t^{0.28} + 5.90054 * 10^{51} * t^{0.16} + 1.61182 * 10^{52} * t^{0.03} + 1.42934 * 10^{52})}$$

Se realizan los cálculos y se obtiene:

$$t_2 = 256.29$$

De acuerdo a los cálculos, obtenidos gracias a la Teoría de Confiabilidad se deduce:

Cualquier intervención de mantenimiento preventivo de frecuencia menor a 201.53 hrs mejora el rendimiento del camión volquete con una tasa de fallas del 95%.

Cualquier intervención de mantenimiento preventivo de frecuencia menor a 256.29 hrs mejora el rendimiento del camión volquete con una tasa de fallas del 98%.

3.8. El modelo

La representación más cercana al sistema real es la que se presenta a continuación teniendo en cuenta las siguientes características que todo modelo de simulación que debe poseer.

3.8.1. Entidades

Se consideraran las siguientes entidades para el modelo de simulación:

-**Falla de tipo 1**; se denomina a la entidad “Falla de tipo 1” a la falla originada en el “componente bastidor” del camión volquete.

Figura 38. Declaración de la Entidad falla tipo 1

Fuente: Interfaz de Arena

Teniendo en cuenta para su creación:

- Distribución: 2+WEIB(193,1.24)
- Entidades por arribo: 1
- Primera creación: 32 horas
- Arribos Máximos: Infinitos
- Asignaciones: Atributos_1

The 'Assignments' dialog box is shown with the following configuration:

- Type: Attribute
- Attribute Name: TIPO_DE_FALLA
- New Value: 1

Figura 39. Declaración del atributo “falla tipo 1”

Fuente: Interfaz de Arena

-**Falla de tipo 2**; se denomina a la entidad “Falla de tipo 2” a la falla originada en el “subsistema de dirección y frenado” del camión volquete.

The 'Create' dialog box is shown with the following configuration:

- Name: arribo de fallas sistema frenado
- Entity Type: falla_tipo_2
- Time Between Arrivals:
 - Type: Expression
 - Expression: 61+WEIB(158 , 1.27)
 - Units: Hours
- Entities per Arrival: 1
- Max Arrivals: Infinite
- First Creation: 42

Figura 40. Declaración de la Entidad “falla tipo 2”

Fuente: Interfaz de Arena

Teniendo en cuenta para su creación:

- Distribución: 61+WEIB(158 , 1.27)
- Entidades por arribo: 1
- Primera creación: 42 horas
- Arribos Máximos: Infinitos
- Asignaciones: Atributos_2

Figura 41. Declaración del atributo “falla tipo 2”

Fuente: Interfaz de Arena

-Falla de tipo 3; se denomina a la entidad “Falla de tipo 3” a la falla originada en el “subsistema eléctrico y de arranque” del camión volquete.

Figura 42. Declaración de la Entidad “falla tipo 3”

Fuente: Interfaz de Arena

Teniendo en cuenta para su creación:

- Distribución: $1+WEIB(235 , 1.52)$
- Entidades por arribo: 1
- Primera creación: 38 horas
- Arribos Máximos: Infinitos
- Asignaciones: Atributos_3

Figura 43. Declaración del atributo “falla tipo 3”

Fuente: Interfaz de Arena

-**Falla de tipo 4**; se denomina a la entidad “Falla de tipo 4” a la falla originada en el “componente motor básico” del camión volquete.

Figura 44. Declaración de la Entidad “falla tipo 4”

Fuente: Interfaz de Arena

Teniendo en cuenta para su creación:

- Distribución: $2+WEIB(211 , 1.75)$
- Entidades por arribo: 1
- Primera creación: 46 horas
- Arribos Máximos: Infinitos
- Asignaciones: Atributos_4

The 'Assignments' dialog box is shown with the following configuration:

- Type: Attribute
- Attribute Name: TIPO_DE_FALLA
- New Value: 4

Figura 45. Declaración del atributo “falla tipo 4”

Fuente: Interfaz de Arena

-**Falla de tipo 5**; se denomina a la entidad “Falla de tipo 5” a la falla originada en el “componente tolva” del camión volquete.

The 'Create' dialog box is shown with the following configuration:

- Name: arribo de fallas Tolva
- Entity Type: falla_tipo_5
- Time Between Arrivals:
 - Type: Expression
 - Expression: 2+WEIB(217,1.4)
 - Units: Hours
- Entities per Arrival: 1
- Max Arrivals: Infinite
- First Creation: 40

Figura 46. Declaración de la Entidad “falla tipo 5”

Fuente: Interfaz de Arena

Teniendo en cuenta para su creación:

- Distribución: 2+WEIB(217,1.4)
- Entidades por arribo: 1
- Primera creación: 40 horas
- Arribos Máximos: Infinitos
- Asignaciones: Atributos_5

The screenshot shows a dialog box titled "Assignments" with a red border. It contains the following fields:

- Type:** A dropdown menu with "Attribute" selected.
- Attribute Name:** A dropdown menu with "TIPO_DE_FALLA" selected.
- New Value:** A text input field containing the number "5".
- Buttons:** "OK", "Cancel", and "Help" buttons are located at the bottom right.

Figura 47. Declaración del atributo “falla tipo 5”

Fuente: Interfaz de Arena

-**Evento operativo;** se denomina a la entidad “Evento Operativo” a la creación de entidades de un Camión Operativo.

The screenshot shows a dialog box titled "Create" with a red border. It contains the following fields:

- Name:** A dropdown menu with "camion_operativo" selected.
- Entity Type:** A dropdown menu with "evento_operativo" selected.
- Time Between Arrivals:**
 - Type:** A dropdown menu with "Random (Expo)" selected.
 - Value:** A text input field containing "5/60".
 - Units:** A dropdown menu with "Hours" selected.
- Entities per Arrival:** A text input field containing "15".
- Max Arrivals:** A text input field containing "4".
- First Creation:** A text input field containing "0".
- Buttons:** "OK", "Cancel", and "Help" buttons are located at the bottom right.

Figura 48. Declaración de la Entidad evento operativo

Fuente: Interfaz de Arena

Teniendo en cuenta para su creación:

- Distribución: EXPO(5/60)
- Entidades por arribo: 15
- Arribos máximos: 4
- Primera creación: 0 horas

A continuación la Figura 49 muestra la creación de la primera parte del modelo en ARENA, es decir, la declaración de entidades y sus atributos.

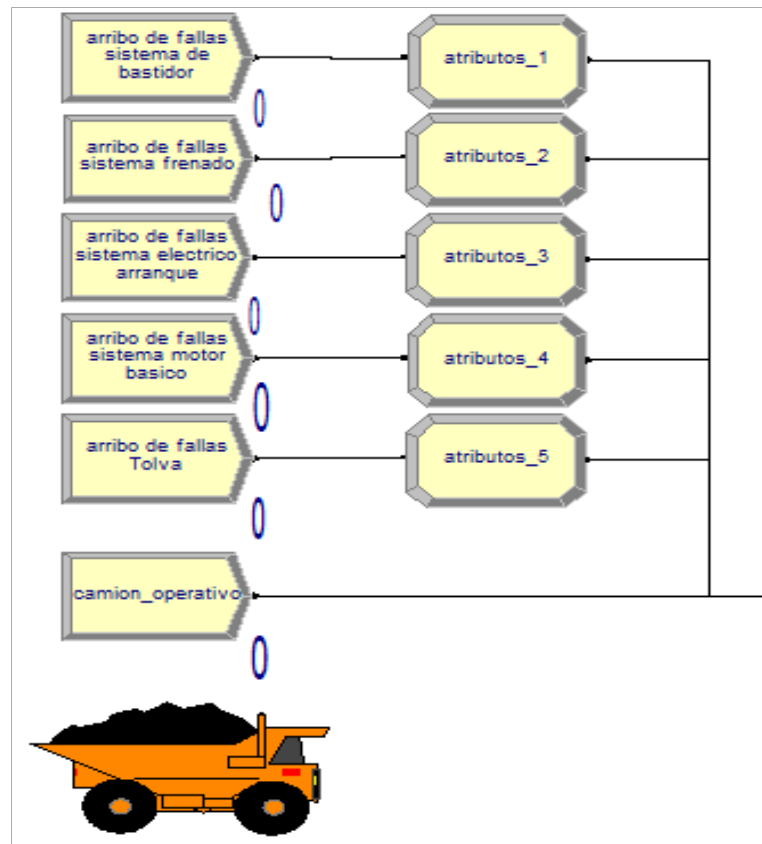


Figura 49. Declaración de las entidades con sus respectivos atributos

Fuente: Interfaz de Arena

3.8.2. Condición de mantenimiento preventivo

A los camiones se les aplica un mantenimiento preventivo, el cual revisa y da mantenimiento a los diferentes componentes de cada sistema: Bastidor, subsistema de dirección y frenado, subsistema eléctrico y de arranque, motor básico y tolva del camión.

Este tipo de mantenimiento se da cada 350 horas de funcionamiento de cada camión los cuales serán atendidos en el taller por un técnico mecánico, un técnico electricista y técnico soldador.

Para realizar la simulación de mantenimiento se define un atributo llamado TIME.

The screenshot shows a dialog box titled "Assignments". It has a "Type:" dropdown menu set to "Attribute" and an "Attribute Name:" dropdown menu set to "TIME". Below these is a "New Value:" text input field containing the text "TNOW". At the bottom right, there are three buttons: "OK", "Cancel", and "Help".

Figura 50. Declaración del Atributo "TNOW"

Fuente: Interfaz de Arena

Se añade un objeto de decisión el cual filtra a las entidades según atributos con respecto al tiempo en el sistema:

The screenshot shows a dialog box titled "Decide". The "Name:" field contains "Tiempo funcionamiento" and the "Type:" dropdown is set to "N-way by Condition". The "Conditions:" list contains the expression "(TNOW)>=349.9905&&TNOW<=350.005).OR.(TNOW)>=68" followed by "<End of list>". To the right of the list are three buttons: "Add...", "Edit...", and "Delete". At the bottom, there are three buttons: "OK", "Cancel", and "Help".

Figura 51. Declaración para el módulo de condición

Fuente: Interfaz de Arena

En la opción de expresión se ingresa el siguiente comando:

$(TNOW \geq 349.9905 \&\& TNOW \leq 350.005).OR.(TNOW \geq 699.995 \&\& TNOW \leq 700.005).OR.(TNOW \geq 1049.995 \&\& TNOW \leq 1050.005).OR.(TNOW \geq 1399.995 \&\& TNOW \leq 1400.005).OR.(TNOW \geq 1749.995 \&\& TNOW \leq 1750.005).OR.(TNOW \geq 2099.995 \&\& TNOW \leq 2100.005).OR.(TNOW \geq 2449.995 \&\& TNOW \leq 2450.005).OR.(TNOW \geq 2799.995 \&\& TNOW \leq 2800.005).OR.(TNOW \geq 3149.995 \&\& TNOW \leq 3150.005)$

Esto indica que cada 350 horas o múltiplo de 350 horas con una amplitud de (+/-) 0.3 minutos, es decir (+/-) 0.005 horas, se hace el respectivo mantenimiento preventivo a las entidades presentes en el sistema.

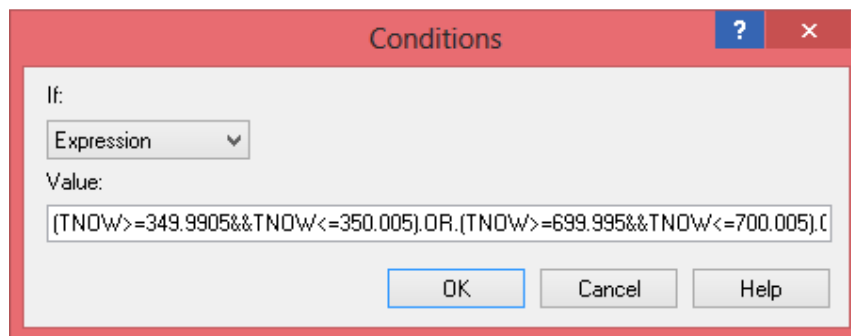


Figura 52. Declaración para la expresión del módulo de condición
Fuente: Interfaz de Arena

A continuación la Figura 53 muestra la creación de la parte I del modelo en ARENA, es decir, la declaración de entidades, sus atributos, y la condición del mantenimiento preventivo realizado cada 350 horas.

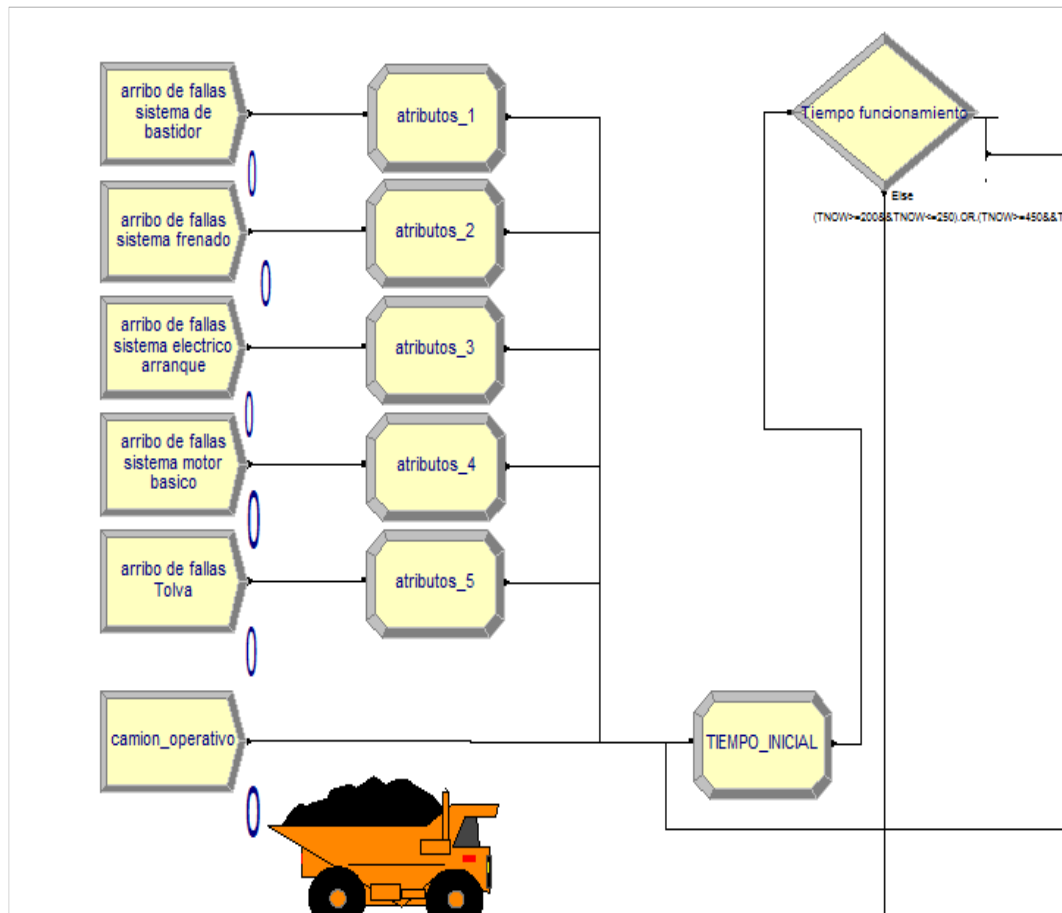


Figura 53. Representación del diagrama de flujo parte I

Fuente: Interfaz de Arena

3.8.3. Proceso de movilización

Es el Proceso realizado por el camión volquete en el cual el equipo moviliza el material extraído por los cargadores frontales, y lo deposita en la tolva del camión volquete, este proceso dura aproximadamente 40 minutos.

Figura 54. Declaración del módulo proceso

Fuente: Interfaz de Arena

Teniendo en cuenta para su creación:

- Distribución: NORM(34.9,12.4)
- Unidades: Minutos
- Acción: Delay

A continuación la Figura 55 muestra la creación de la parte II del modelo en ARENA, es decir, el proceso de movilización.

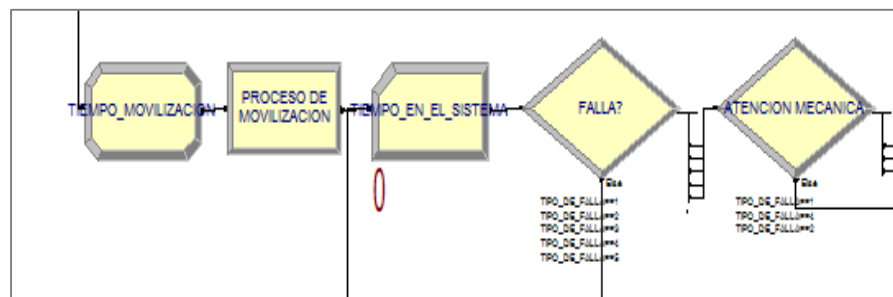


Figura 55. Representación del diagrama de flujo parte II

Fuente: Interfaz de Arena

3.8.4. Presentación de fallas

Las fallas presentes en los componentes de los camiones volquetes son tratadas en el taller, a este proceso de corrección de fallas se le llama mantenimiento correctivo.

Este tiempo de mantenimiento y el encargado de atenderlo, depende del componente que ha sido afectado, según este será atendido por el taller mecánico, taller eléctrico o taller soldador.

Las fallas serán atendidas según la siguiente tabla.

Tabla 18
Tipo de atención por componente afectado

Recurso	Componente afectado
Mecánico	Bastidor, subsistema de dirección y frenado, motor básico
Electricista	Subsistema eléctrico y arranque
Soldador	Tolva, bastidor

Fuente: Elaboración Propia

3.8.5. Declaración del tiempo de atención en los talleres

Se declaran los recursos y el tiempo destinado al mantenimiento en los talleres, según el servicio realizado (mantenimiento correctivo en la aparición de fallas o mantenimiento preventivo programado).

-Taller mecánico; el mecánico atenderá el servicio que le corresponde según la aparición de estos, pueden ser fallas en los componentes o mantenimiento preventivo programado, en la Figura 56 se consideran los tiempos de servicio.

	Name	Rows	Columns	Data Type	File Name	Expression Values
1 ▶	ATENCION_MECANICO	6		Native		6 rows

Figura 56. Declaración de las distribuciones del servicio del taller mecánico

Fuente: Interfaz de Arena

Se creó un arreglo de distribuciones de servicio para la expresión **ATENCION_MECANICO**, los números 1, 2, 3, 4, 5 representan los 5 tipos de fallas y el 6 representa la atención al mantenimiento preventivo.

1	NORM(4.94,0.842)
2	NORM(6.16,2.21)
3	0.0
4	NORM(6.92,2.44)
5	0.0
6	NORM(0.7633333,0.131166)

Figura 57. Declaración del arreglo de distribuciones del servicio del taller mecánico
Fuente: Interfaz de Arena

La Figura 58 muestra la declaración de los recursos y el tipo de atención en el taller mecánico.

Process ? x

Name: TALLER MECANICO Type: Standard

Logic

Action: Seize Delay Release Priority: Medium(2)

Resources:

- Resource_MECANICO.1
- <End of list>

Buttons: Add... Edit... Delete

Delay Type: Expression Units: Hours Allocation: Value Added

Expression: ATENCION_MECANICO(TIPO_DE_FALLA)

Report Statistics

Buttons: OK Cancel Help

Figura 58. Declaración del módulo proceso de atención mecánico
Fuente: Interfaz de Arena

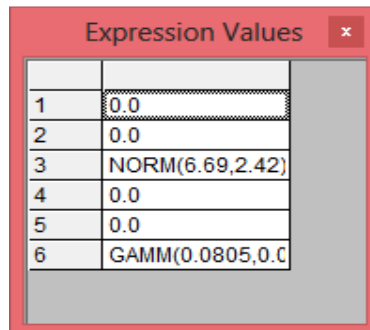
-Taller electricista; el electricista atenderá el servicio que le corresponde según la aparición de estos, pueden ser fallas en los componentes o mantenimiento preventivo programado, en la Figura 59 se consideran los tiempos de servicio.

	Name	Rows	Columns	Data Type	File Name	Expression Values
2	ATENCION_ELECTRICISTA	6		Native		6 rows

Figura 59. Declaración de las distribuciones del servicio del taller electricista

Fuente: Interfaz de Arena

Se creó un arreglo de distribuciones de servicio para la expresión **ATENCION_ELECTRICISTA**, los números 1, 2, 3, 4, 5 representan los 5 tipos de fallas y el 6 representa la atención al mantenimiento preventivo.



1	0.0
2	0.0
3	NORM(6.69,2.42)
4	0.0
5	0.0
6	GAMM(0.0805,0.0)

Figura 60. Declaración del arreglo de distribuciones del servicio del taller electricista

Fuente: Interfaz de Arena

La Figura 61 muestra la declaración de los recursos y el tipo de atención en el taller electricista.

Figura 61. Declaración del módulo proceso de atención electricista

Fuente: Interfaz de Arena

-Taller soldador; el soldador atiende el servicio que le corresponde según la aparición de estos, pueden ser fallas en los componentes o mantenimiento preventivo programado, en la Figura 62 se consideran los tiempos de servicio.

	Name	Rows	Columns	Data Type	File Name	Expression Values
3	ATENCION_SOLDADOR	6		Native		6 rows

Figura 62. Declaración de las distribuciones del servicio del taller soldador

Fuente: Interfaz de Arena

Se creó un arreglo de distribuciones de servicio para la expresión **ATENCION_SOLDADOR**, los números 1, 2, 3, 4, 5 representan los 5 tipos de fallas y el 6 representa la atención al mantenimiento preventivo.

1	1+WEIB(4.13,2.15)
2	0.0
3	0.0
4	0.0
5	NORM(7.12,2.46)
6	NORM(0.3316666,0.1056666)

Figura 63. Declaración del arreglo de distribuciones del servicio del taller soldador

Fuente: Interfaz de Arena

La Figura 64 muestra la declaración de los recursos y el tipo de atención en el taller soldador.

Process		
Name:	TALLER SOLDADOR	
Type:	Standard	
Logic		
Action:	Seize Delay Release	
Priority:	Medium(2)	
Resources:		
Resource, SOLDADOR, 1		Add...
<End of list>		Edit...
		Delete
Delay Type:	Units:	Allocation:
Expression	Hours	Value Added
Expression:		
ATENCION_SOLDADOR(TIPO_DE_FALLA)		
<input checked="" type="checkbox"/> Report Statistics		
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/> <input type="button" value="Help"/>		

Figura 64. Declaración del módulo proceso de atención soldador

Fuente: Interfaz de Arena

3.8.6. Declaración del mantenimiento preventivo

Como se mencionó anteriormente cada 350 horas se procede a realizar un mantenimiento preventivo, con el fin de aminorar las fallas inesperadas, en el proceso de movilización, esta acción es realizada en los talleres con los tres técnicos encargados de cada taller: mecánico, electricista y soldador, la atención de los componentes se realiza en serie, pues se le da mantenimiento a todos los componentes.

Después de realizar el mantenimiento preventivo las entidades vuelven al proceso de movilización.

Los tiempos de servicio de los tres especialistas o recursos están descritos en las tablas anteriores con el índice 6.

3.8.7. Estructura del modelo

Declaradas todas las entidades, con sus respectivos atributos, condicionales y arreglos de las distribuciones de probabilidad, se obtiene la representación gráfica del modelo.

A continuación la Figura 65 muestra la representación del modelo en el software ARENA.

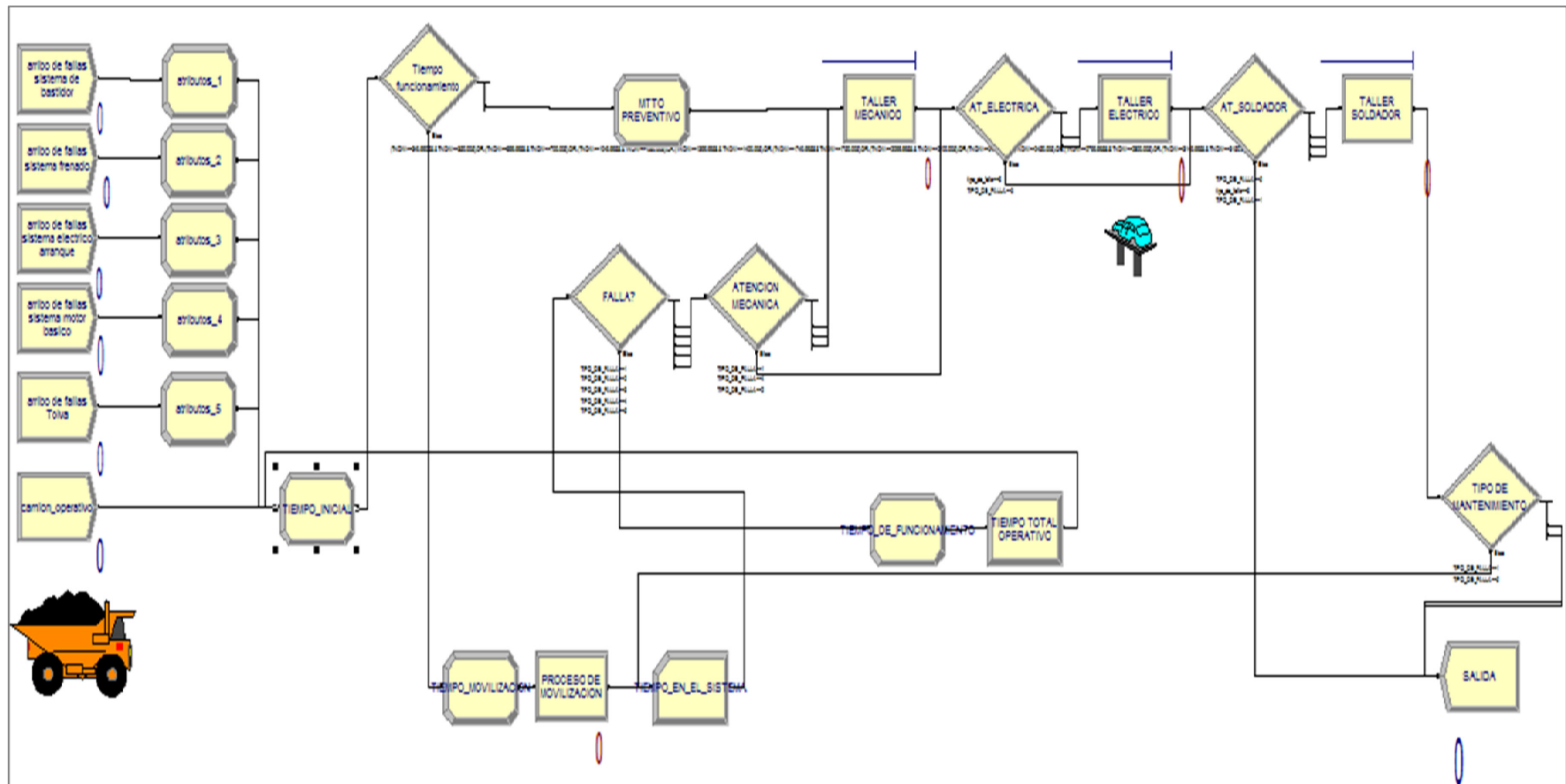


Figura 65. Representación del diagrama de flujo del modelo completo

Fuente: Interfaz de Arena

El modelo tiene la siguiente estructura:

- Creación de Entidades:

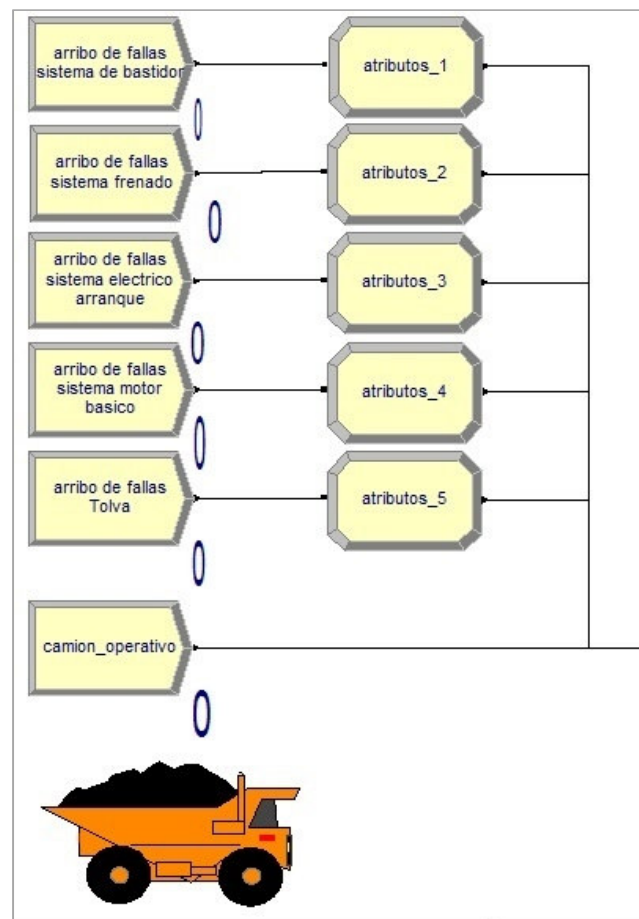


Figura 66. Representación del diagrama de flujo del modelo: creación de entidades

Fuente: Interfaz de Arena

- Condición de Mantenimiento Preventivo:

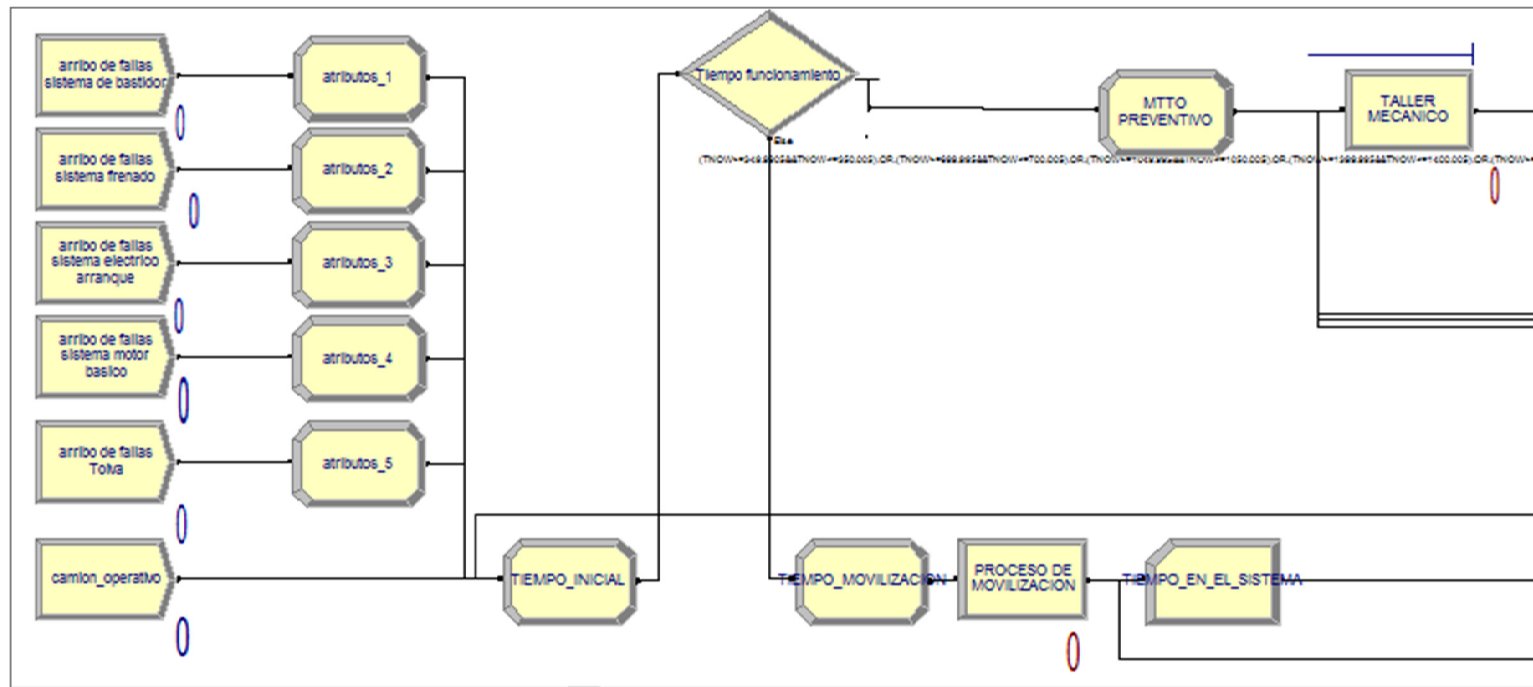


Figura 67. Representación del diagrama de flujo del modelo: condición mantenimiento preventivo

Fuente: Interfaz de Arena

- Ocurrencia de Fallas:

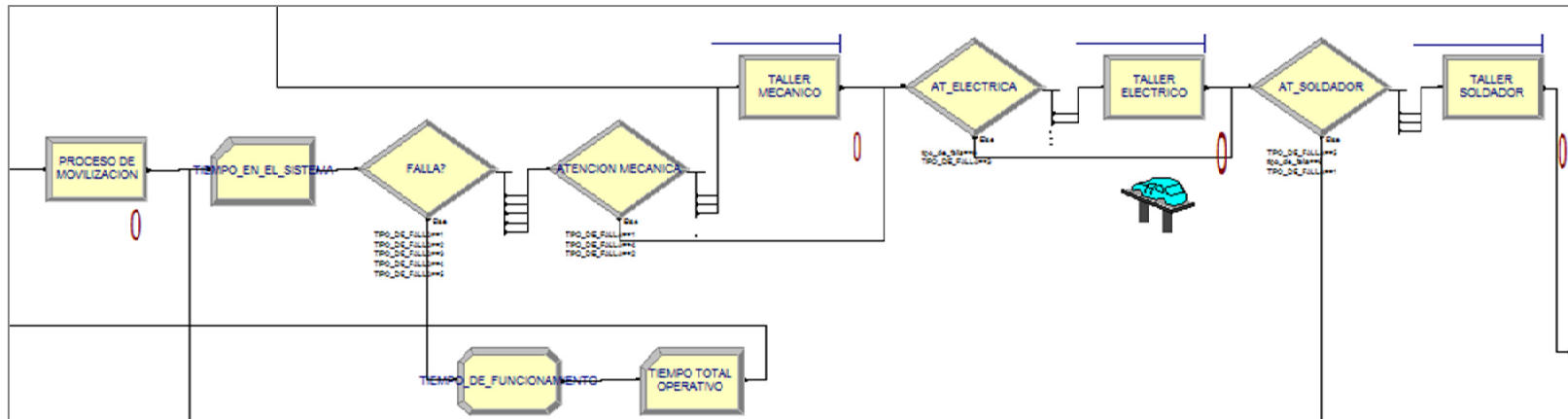


Figura 68. Representación del diagrama de flujo del modelo: ocurrencia de fallas

Fuente: Interfaz de Arena

- Proceso de Movilización:

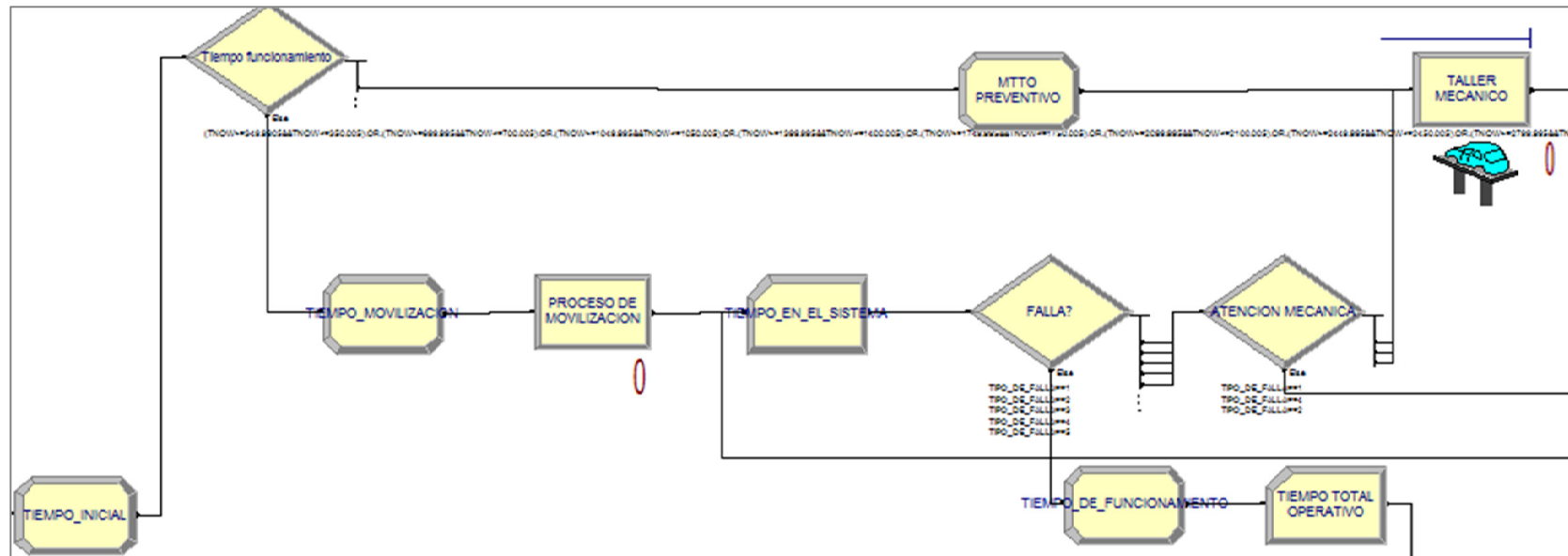


Figura 69. Representación del diagrama de flujo del modelo: proceso de movilización a los respectivos talleres

Fuente: Interfaz de Arena

- Atención en Talleres; Mecánico, Eléctrico y Soldador:

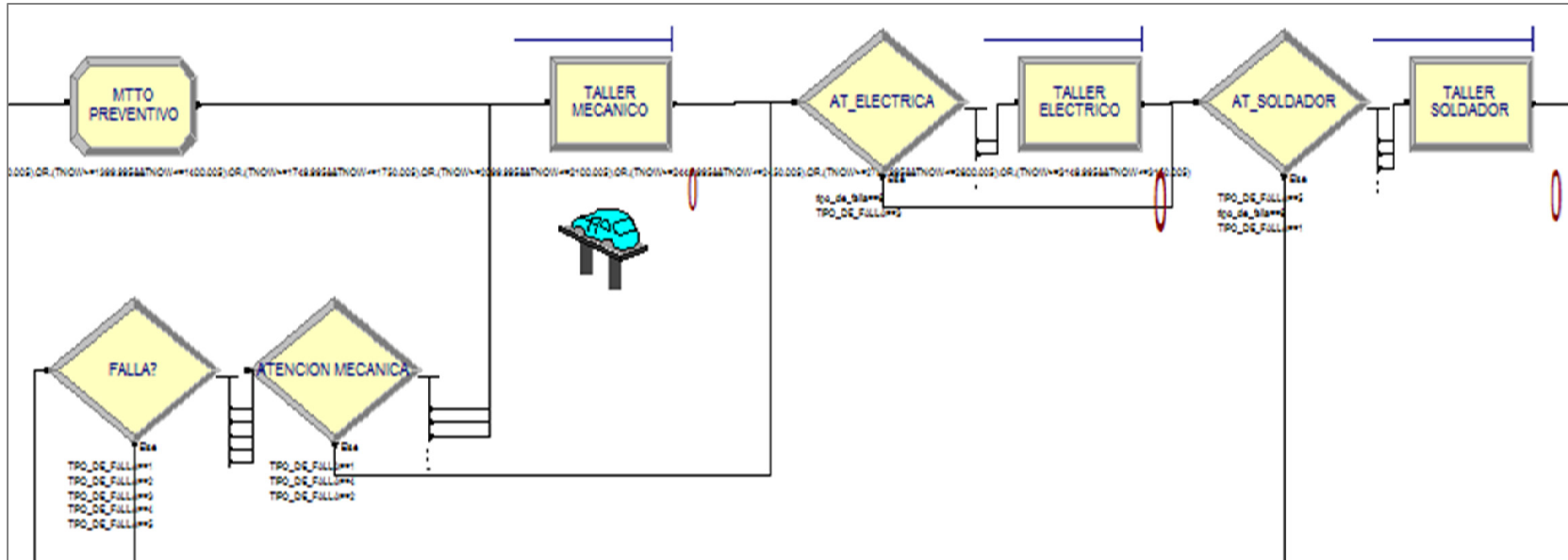


Figura 70. Representación del diagrama de flujo del modelo: atención por fallas en los respectivos talleres
Fuente: Interfaz de Arena

3.8.8. Condiciones de arranque y finalización de la simulación

La unidad de tiempo del modelo será en horas, como se describe en el setup del software.

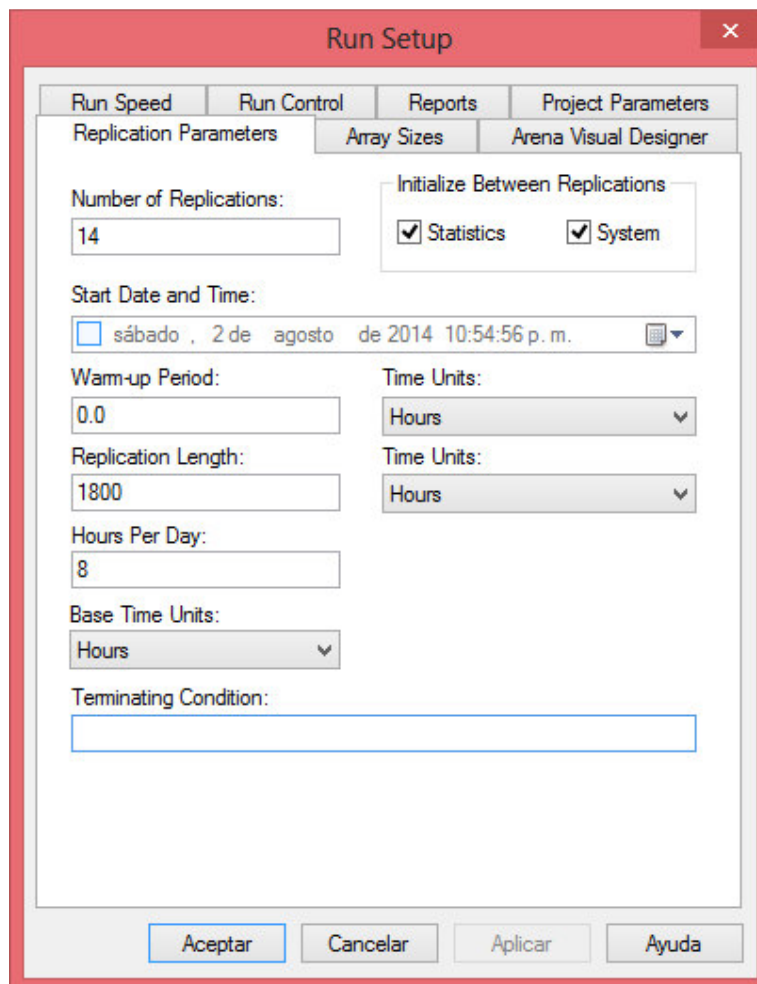


Figura 71. Declaración del número de réplicas y parámetros del Modelo de Simulación

Fuente: Interfaz de Arena

3.8.9. Selección del número de réplicas

Se desea aproximar con confianza 99% (es decir la cola derecha de probabilidad 0.05 de una distribución desconocida, la cual es representativa de la simulación, con nivel de imprecisión 0.20. Es decir, se desea aproximar la cola de probabilidad 0.05 mediante la frecuencia relativa, con un número de replicaciones tal que haga que con un 99% de confianza la probabilidad teórica de esa cola se encuentre en el intervalo [0.045, 0.055], por lo que el número mínimo de replicaciones necesario es:

$$T = \frac{t_{\frac{\alpha}{2}}^2 * p * (1-p)}{A^2} = \frac{2.57^2 * 0.05 * (1-0.05)}{0.15^2} = \frac{0.313732}{0.0225} = 13.94364444$$

Utilizando $T \geq 13.94364444$ se obtendrá una estimación precisa de probabilidad $p=0.05$, con confianza del 99% y una imprecisión de 0.15, obtenemos:

T=14 réplicas.

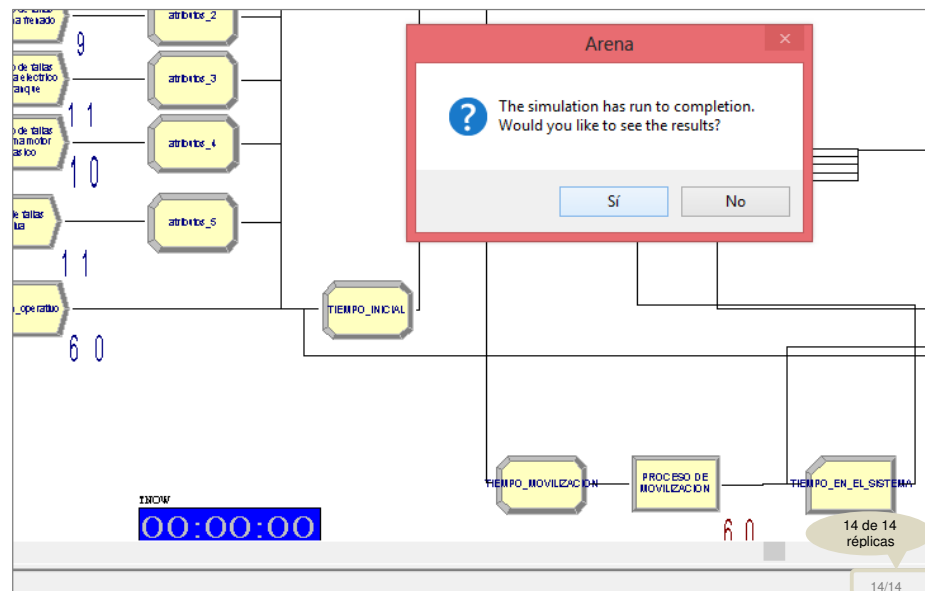


Figura 72. Representación del término de la simulación

Fuente: Interfaz de Arena

3.8.10. Definición de variables del modelo de simulación

El propósito del modelo es brindar diferentes escenarios para hallar la intervención adecuada del mantenimiento preventivo en los camiones volquetes, teniendo en cuenta que existen fallas que paralizan el equipo, por lo cual, se pretende relacionar el tiempo que requiere una falla en pasar a través de 3 talleres de mantenimiento, así como el impacto de una nueva frecuencia de mantenimiento preventivo que se adelante a dichas fallas, por estas razones, cada intervención en los talleres, ya sea por mantenimiento preventivo o a causa de una falla, se denominará como “intervención”.

Por lo que se han definido las siguientes variables del sistema.

En donde:

El número de camiones volquetes es:

$$l=1,2,\dots,60$$

El número de intervención es :

$$i=1,2,\dots,n.$$

El tipo de tipo de intervención es :

$$k=1,2,3,4,5,6$$

1= Falla tipo 1 – Falla en el componente bastidor

2= Falla tipo 2 – Falla en el subsistema de dirección y frenado

3= Falla tipo 3 - Falla en el subsistema eléctrico y arranque

4= Falla tipo 4 – Falla en el componente motor básico

5= Falla tipo 5 – Falla en el componente tolva

El tipo de taller es :

$$j=1,2,3$$

1= Taller mecánico

2= Taller electricista

3=Taller soldador

- Variables de entrada o Variables exógenas:

- X_{ik} : Es el intervalo de tiempo entre la llegada de la “ i -ésima” intervención del tipo “ k ” y la “ $(i-1)$ ” intervención del tipo “ k ”.
- Y_{ikj} : Es el tiempo de procesamiento para la “ i -ésima” intervención del tipo “ k ”, en el “ j -ésimo” taller.

- Variables del sistema o endógenas:**Variables de estado:**

- Z_{ijk} : El tiempo que la “ i -ésima” intervención de tipo j espera para entrar al “ k -ésimo” taller.
- W_{ijk} : El tiempo que el taller “ k -ésimo” permanece ocioso mientras espera la llegada de la “ i -ésima” falla de tipo “ j ”.
- U_{ijk} : El tiempo total que la “ i -ésima” intervención está en el “ j -ésimo” taller.

Variables de salida:

- V_{ij} : El tiempo total que la “ i -ésima” intervención está en el sistema, es decir, el tiempo requerido para pasar a través de los 3 talleres.
- O_l : Es el tiempo promedio de operatividad del camión “ l -ésimo”.

3.9. Planteamiento de escenarios

La representación del sistema real y de los sistemas propuestos serán descritos a continuación.

3.9.1. Escenario real

El escenario real tiene las siguientes características:

- En el proyecto de mantenimiento vial estudiado, se cuenta con 3 talleres especializados; el taller mecánico, con un mecánico experto, el taller electricista, con un electricista, y el taller de soldadura, que cuenta con un soldador.
- Se cuenta con 60 camiones volquetes.
- Cada vez que ocurre una falla en el componente bastidor, el camión pasa por los talleres mecánicos y de soldadura.
- Cada vez que ocurre una falla en el camión es enviado al taller de mantenimiento dependiendo del componente afectado, se realiza el mantenimiento correctivo y es enviado de regreso al campamento, es decir, no termina la jornada laboral.
- Cada vez que ocurre una falla en el subsistema de dirección y frenado, el camión pasa por el taller mecánico.
- Cada vez que ocurre una falla en el subsistema eléctrico y de arranque, el camión pasa por el taller electricista.
- Cada vez que ocurre una falla en el motor básico, el camión pasa por el taller mecánico.
- Cada vez que ocurre una falla en la tolva, el camión pasa por el taller de soldadura.
- Cada vez que se realiza un mantenimiento preventivo a un camión, este pasa por los tres talleres y regresa al frente de trabajo a continuar sus operaciones.
- El mantenimiento preventivo se realiza cada 350 horas.
- Una jornada de trabajo comprende 8 horas al día.

3.9.2. Escenarios propuestos

- Primer criterio: Escenarios propuestos con base en la aplicación de la teoría de confiabilidad

De acuerdo a los resultados obtenidos en la aplicación de la teoría de confiabilidad (p.117), se proponen 2 frecuencias de mantenimiento preventivo, considerando que en la actualidad, se realiza cada 350 horas, se proponen las frecuencias de mantenimiento preventivo: $t_1=200$ hrs, y $t_2=250$ hrs.

- Segundo criterio: Escenarios propuestos con base en el análisis de sensibilidad

Con base en los resultados obtenidos de la simulación de la primera propuesta, se identifican los cuellos de botella en los talleres de mantenimiento, y se proponen nuevos escenarios variando la cantidad de recursos por taller, es decir, se realiza el análisis de sensibilidad del sistema, de acuerdo al personal encargado atender las intervenciones.

- Total de escenarios

A continuación se describen todos los escenarios propuestos, en donde se aprecia el cambio de frecuencia del mantenimiento preventivo y la variación de personal por taller.

Tabla 19
Resumen de Distribuciones de Probabilidad

N°	HRS. MTTO. PREV	N° MEC.	N° ELEC	N° SOLD.
1	350	1	1	1
2	350	2	1	1
3	350	2	1	2
4	250	1	1	1
5	250	2	1	1
6	250	2	1	2
7	250	2	2	1
8	250	2	2	2
9	200	1	1	1
10	200	2	1	1
11	200	2	2	1
12	200	2	1	2

Fuente: Elaboración propia

3.10. Resultados del modelo

3.10.1. Escenario real

La información obtenida en la simulación se muestra en la Tabla 18, con base en una jornada de trabajo de 8 horas por día, simulándose 1,800 horas de trabajo.

El tiempo promedio del proceso de movilización para la flota de 60 camiones volquetes es de 107,922 horas, siendo los tiempos promedio de espera en el taller mecánico de 0.79 horas, en el taller electricista es de 0.24 horas y en el taller soldador de 0.39 horas; obteniéndose un margen de utilidad de s/.181,310,617, considerándose para ello el mantenimiento preventivo cada 350 horas, con un electricista, un soldador y un mecánico, en sus respectivos talleres.

Tabla 20
Tiempo promedio de espera en talleres obtenidos por la simulación del escenario real

T. PROC.	T.ESP. MEC	T. ESP. ELE	T. ESP SOL	N°ESP MEC.	N°ESP ELEC.	N°ESP SOLD.	MARG
107,922	0.79	0.24	0.39	14	6	9	181,310,617

Fuente: Elaboración Propia

3.10.2. Escenarios propuestos

A continuación la tabla N°19 nos muestra los datos obtenidos en las simulaciones en diferentes tipos de escenarios, haciendo variar el número de horas de mantenimiento preventivo que se encuentra basado y justificado por la teoría de confiabilidad, como también el número de mecánicos, electricistas y soldadores que se podrían necesitar para el mantenimiento respectivo en dichos escenarios; además se muestra el margen de ingresos en cada uno de los escenarios respectivos.

Tabla 21

Tabla de Resultados obtenidos por la Simulación en diferentes escenarios

N°	HRS. PREV.	N° M.	N° E.	N° S.	T. PROC.	T.ESP. MEC.	T.ESP. ELE	T.ESP SOL	N° ESP MEC.	N° ESP ELEC.	N° ESP SOLD.	MARG
1	350	1	1	1	107,922.01	0.79	0.24	0.39	14	6	9	181,310,617
2	350	2	1	1	107,951.01	0.35	0.23	0.4	6.2	5.75	9.23	181,339,574
3	350	2	1	2	107,885.61	0.37	0.25	0.18	6.56	6.25	4.15	181,211,701
4	250	1	1	1	107,879.57	0.62	0.19	0.42	11	4	7	181,242,208
5	250	2	1	1	107,973.46	0.29	0.21	0.4	5.15	4.42	6.67	181,377,368
6	250	2	1	2	107,941.95	0.31	0.24	0.19	5.5	5.05	3.17	181,306,326
7	250	2	2	1	107,970.94	0.33	0.15	0.4	5.85	3.16	6.67	181,356,402
8	250	2	2	2	107,965.61	0.32	0.16	0.18	5.68	3.37	3	181,328,674
9	200	1	1	1	107,935.16	0.51	0.18	0.38	9	4	6	181,332,867
10	200	2	1	1	107,938.66	0.26	0.2	0.4	4.59	4.44	6.32	181,318,565
11	200	2	2	1	107,969.74	0.28	0.09	0.42	4.94	2	6.63	181,438,069
12	200	2	1	2	107,972.45	0.25	0.21	0.23	4.41	4.67	3.63	181,443,125

El escenario n°1 es el escenario real

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO IV RESULTADOS

A continuación se presentarán los resultados del estudio, en base a los objetivos planteados y se procederá a la validación de las hipótesis propuestas en el capítulo I.

4.1. Resultados de la aplicación del análisis de Pareto de costos

La Figura 4 refleja los montos destinados por tipo de mantenimiento durante el 2013; el 80% de los costos son destinados al mantenimiento correctivo y mantenimiento preventivo.

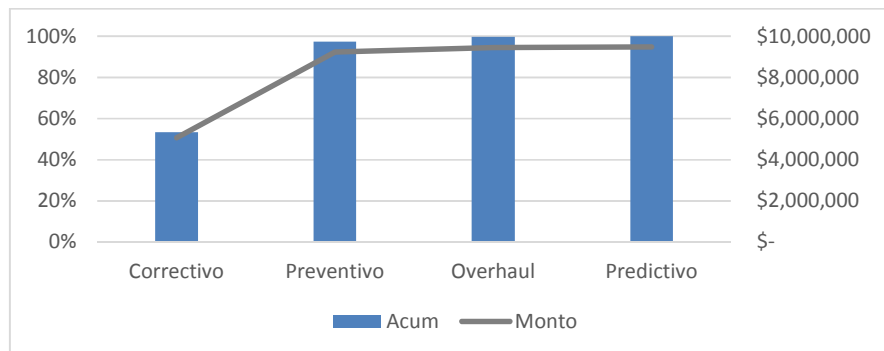


Figura 4. Diagrama de Pareto de costos por tipo de mantenimiento – 2013

Fuente: Módulo de mantenimiento de planta del ERP SAP de la empresa en estudio

La Figura 73 detalla la distribución del costo total del mantenimiento correctivo, se observa que los equipos de producción representan el 86% del total de costos del mantenimiento correctivo.

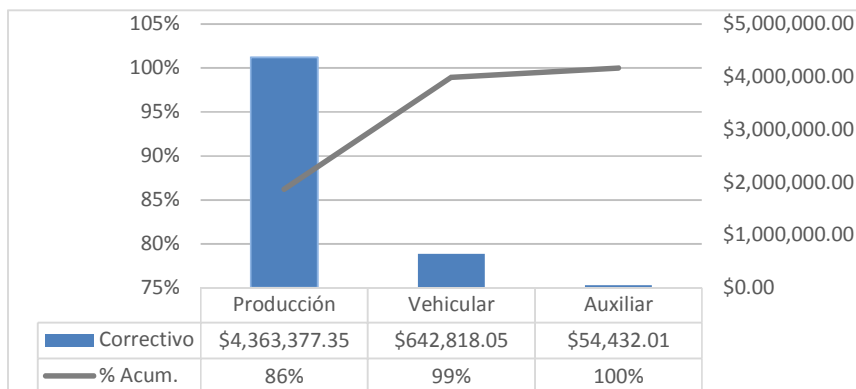


Figura 73. Pareto de Costos por Tipo de Equipo – 2013

Fuente: Módulo de mantenimiento de planta del ERP SAP de la empresa en estudio

De acuerdo al Pareto de costos de la Figura 6, observamos que el 87% del Total de Gastos en Mantenimiento; se encuentra destinado al Mantenimiento de:

- Camiones Volquetes
- Cargadores Frontales
- Excavadoras

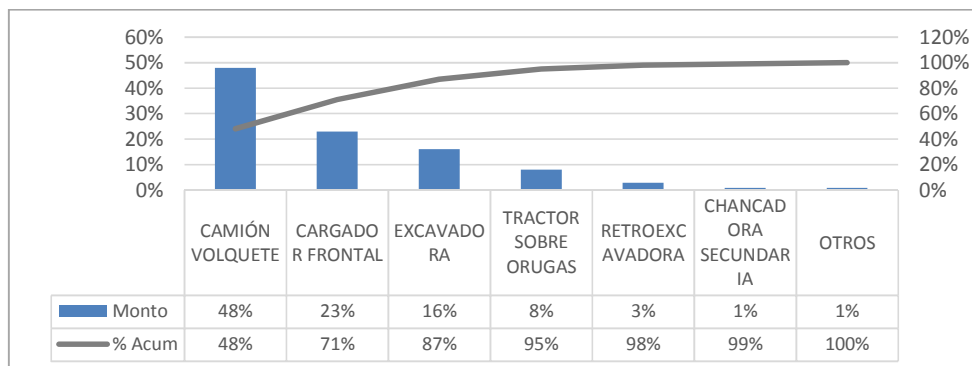


Figura 6. Diagrama de Pareto de gastos destinados al mantenimiento por ejemplar de equipos de producción– 2013

Fuente: Módulo de mantenimiento de planta del ERP SAP de la empresa en estudio

Por lo que se realiza la validación de la hipótesis Ho1:

Ho1: Si se aplica el análisis de Pareto de costes, entonces es posible determinar los costos de mantenimiento de la flota.

Cuya hipótesis alternativa es:

H11: No es posible analizar los costos de mantenimiento de la flota de camiones volquetes, si se aplica el análisis de Pareto de costes.

De acuerdo a los resultados, se demuestra la hipótesis Ho1.

4.2. Aplicación del análisis de Pareto

En la Figura 17 se refleja el orden en la frecuencia de fallas, con lo que se consigue la estructura de fallas en los componentes del camión volquete, estos componentes críticos ocasionan el 86.6% de las Fallas Totales.

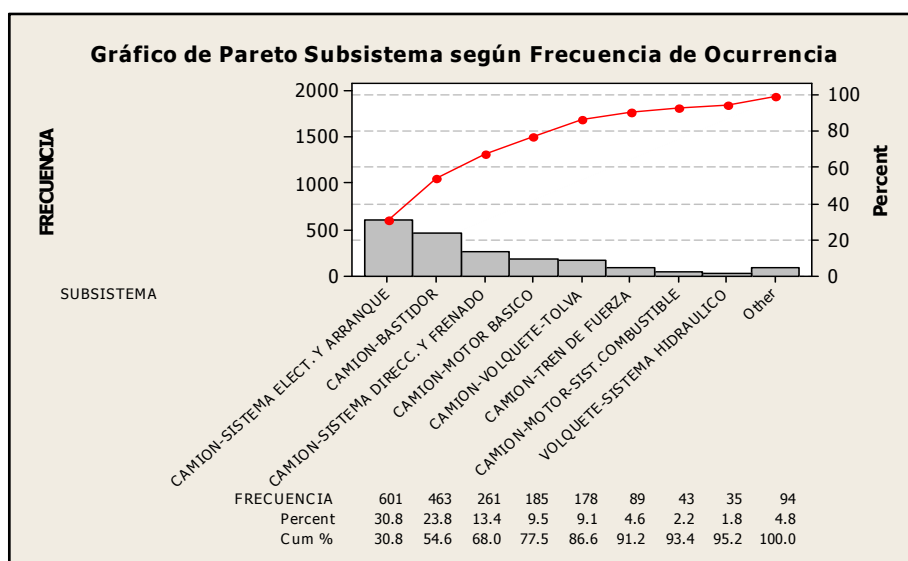


Figura 17. Gráfica de Pareto de cantidad por tipo de fallas

Fuente: Módulo de mantenimiento de planta del ERP SAP de la empresa en estudio

De acuerdo al Pareto, se obtuvo el ranking de componentes críticos:

Tabla 15
Estructura de Fallas del Camión Volquete

Arial n	SINTOMA FRECUENTE DE FALLA	SOLUCION	RECURSO
BASTIDOR	ROTURA FISION EN BASTIDOR DE VOLQUETE	SOLDADURA Y PLANCHADO	MECÁNICO, SOLDADOR
SUBSISTEMA ELECTRICO Y ARRANQUE	PROBLEMAS EN LA BATERIA	CAMBIO DE BATERIA	ELECTRICISTA
TOLVA	GANCHOS DE COMPUERTA DESOLDADOS	SOLDADURA	SOLDADOR
MOTOR BASICO	DESGASTE DE VALVULA SELENOIDE	CAMBIO DE VALVULA	MECANICO
SUBSISTEMA DIRECCION Y FRENADO	PERNO CENTRO DE MUELLE POSTERIOR ROTO	CAMBIO DE PERNO	MECANICO

Fuente: Elaboración Propia

Por lo que se realiza la validación de la hipótesis Ho2:

Ho2: Si se aplica el análisis de Pareto en la frecuencia de fallas, entonces es posible determinar la estructura de fallas de la flota.

Cuya hipótesis alternativa es:

H12: No es posible determinar la estructura de fallas de la flota, si se aplica el análisis de Pareto en la frecuencia de fallas.

De acuerdo a los resultados, se demuestra la Hipótesis Ho2.

4.3. Aplicación de la teoría de confiabilidad

De acuerdo a los resultados obtenidos en la aplicación de la teoría de confiabilidad, en el capítulo III, se resume:

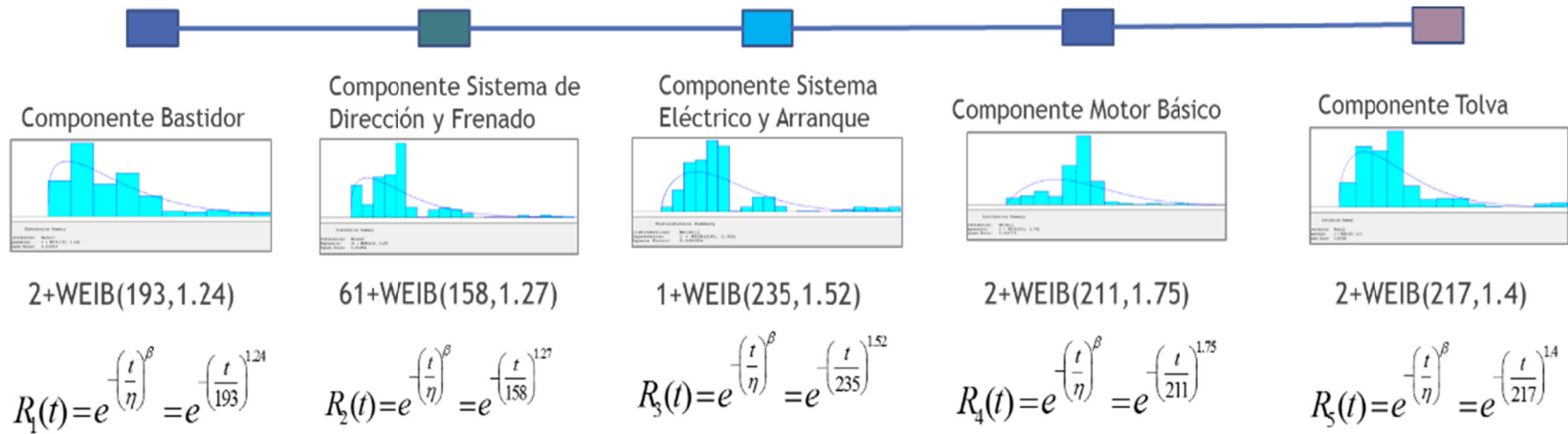


Figura 74. Aplicación de la T. Confiabilidad en los componentes críticos

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 74 se detalla las funciones de confiabilidad de cada componente crítico, los cuales, en conjunto conforman el sistema del camión volquete, por lo que se procedió a hablar la confiabilidad de todo el sistema, en base a la confiabilidad de cada componente, obteniéndose la función de confiabilidad y la función de riesgo o tasa de fallas.

Confiabilidad del sistema “camión volquete”:

$$R(t) = e^{-8.56062 \cdot 10^{-5} \cdot t^{1.75} - 0.00024 \cdot t^{1.52} - 0.00053 \cdot t^{1.4} - 0.00161 \cdot t^{1.27} - 0.00146 \cdot t^{1.24}}$$

Función de Riesgo o Tasa de Fallas del sistema “camión volquete”:

$$H(t) = 1.27113 \cdot 10^{-55} \cdot t^{0.24} \cdot e^{1.06576 \cdot 10^{-15} \cdot t^{1.75} + 9.22678 \cdot 10^{-14} \cdot t^{1.52} + 4.92446 \cdot 10^{-14} \cdot t^{1.4} + 5.11073 \cdot 10^{-13} \cdot t^{1.27} + 7.81144 \cdot 10^{-14} \cdot t^{1.24}} \cdot (1.17855 \cdot 10^{51} \cdot t^{0.51} + 2.97596 \cdot 10^{51} \cdot t^{0.28} + 5.90054 \cdot 10^{51} \cdot t^{0.16} + 1.61182 \cdot 10^{52} \cdot t^{0.03} + 1.42934 \cdot 10^{52})$$

La Figura 37 muestra el comportamiento de la tasa de fallas del sistema, y la función confiabilidad, se puede concluir que:

Mientras el tiempo tiende a 250 horas, la tasa de fallas tiende al 100% y la confiabilidad al 0%.

Deseamos conocer el tiempo t_1 en el cual la función de riesgo sea de 95%, y el tiempo t_2 en el cual la función de riesgo sea de 98% es decir, el tiempo que asegure la No sobrevivencia del equipo en un 95% y el tiempo t_1 que asegure la no sobrevivencia del equipo en un 98%.

$$H(t_1)=0.95 \text{ luego } t_1=201.53 \text{ horas.}$$

$$H(t_2)=0.98 \text{ luego } t_2=256.29 \text{ horas.}$$

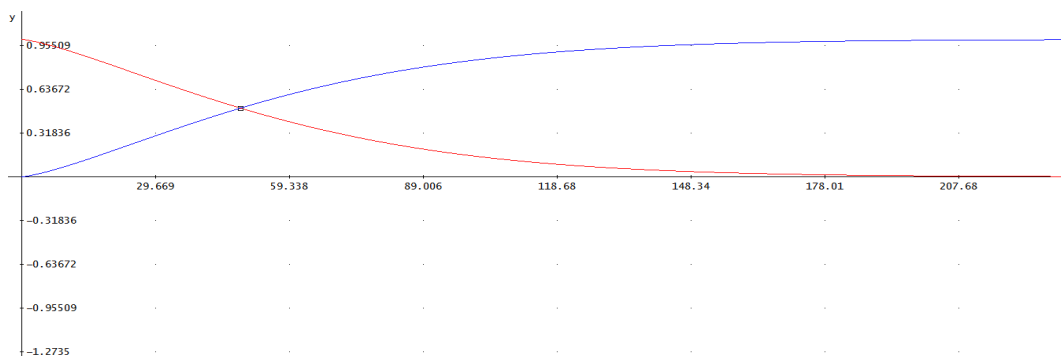


Figura 37. Gráfica del comportamiento de la tasa de fallas vs la confiabilidad del sistema

Fuente: Elaboración propia

Por lo que se realiza la validación de la hipótesis Ho3:

Ho3: Si se aplica la teoría de confiabilidad en el histórico de fallas, entonces es posible analizar el comportamiento de las fallas de la flota.

Cuya hipótesis alternativa es:

H13: No es posible analizar el comportamiento de las fallas de la flota, si se aplica la teoría de confiabilidad en el histórico de fallas.

De acuerdo a los resultados, se demuestra la Hipótesis Ho3.

4.4. Simulación del sistema

De acuerdo a los resultados obtenidos en la aplicación de la teoría de confiabilidad, se proponen dos frecuencias de mantenimiento preventivo, considerando que en la actualidad, se realiza cada 350 horas, se proponen las frecuencias de Mantenimiento Preventivo: $t_1 = 200$ horas y $t_2 = 250$ horas.

Tabla 22
Tiempos en talleres según las nuevas frecuencias de mantenimiento

N°	MTTO. PREV.	HRS. SIM.	T. DE PROC. DE MOV.	T PROM ELEC	T PROM MECAN	T PROM SOLD	T TOTAL MTO PREV	T TOTAL MTO CORR
1	350	1800	107,922.01	148.36	430.97	319.6	314.6255	584.3045
4	250	1800	107,879.57	171.74	384.5	365.8	599.326	322.714
9	200	1800	107,935.16	136.71	385.77	312.62	567.868	267.232

El escenario n°1 es el escenario real

Fuente: Propia

En la Tabla 22 se aprecia que con las mismas capacidades (n° de técnicos) pero con una frecuencia de mantenimiento preventivo de 250 horas, se reduce en un 44% el tiempo destinado al mantenimiento correctivo en el escenario real, un mantenimiento preventivo de 200 horas, implica una reducción en 54% del tiempo destinado al mantenimiento correctivo en el escenario real.

Por lo que se realiza la validación de la hipótesis Ho4:

Ho4: Si se aplica la Teoría de Confiabilidad en un sistema simulado, entonces es posible reducir los tiempos de parada por fallas de la flota.

Cuya hipótesis alternativa es:

H14: No es posible reducir los tiempos de parada por fallas de la flota de camiones volquetes utilizando la Teoría de Confiabilidad en un Sistema Simulado.

De acuerdo a los resultados, se demuestra la Hipótesis Ho4.

Además, la simulación de las nuevas propuestas de la frecuencia de mantenimiento preventivo, obtenidas gracias a la aplicación de la teoría de confiabilidad, en base a las mismas capacidades de los recursos que el escenario real, nos brinda los tiempos en las colas de los talleres, es decir, los tiempos en espera para ser intervenidos.

Tabla 23
Tiempos en colas de talleres obtenidos por la Simulación

N°	HRS. PREV.	N° M.	N° E.	N° S.	T. PROC.	T.ESP. MEC.	T.ESP. ELE	T.ESP SOL	N° ESP MEC.	N° ESP ELEC.	N° ESP SOLD.	MARG
1	350	1	1	1	107,922.01	0.79	0.24	0.39	14	6	9	181,310,617
4	250	1	1	1	107,879.57	0.62	0.19	0.42	11	4	7	181,242,208
9	200	1	1	1	107,935.16	0.51	0.18	0.38	9	4	6	181,332,867

El escenario n°1 es el escenario real

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 23 muestra que, al reducirse la frecuencia de mantenimiento preventivo, se incrementan los tiempos de espera en los talleres mecánicos, por lo que se identifican los cuellos de botella en:

- Taller Mecánico
- Taller Soldador

De la Simulación se infiere que a pesar de reducir el tiempo destinado al mantenimiento correctivo, se generan cuellos de botella debido probablemente a la corta frecuencia en el mantenimiento que hace que los camiones volquetes pasen frecuentemente a los talleres.

Por lo que se realiza la validación de la hipótesis Ho5:

Ho5: Si se utiliza la simulación de sistemas, entonces es posible determinar los cuellos de botella en la reparación de camiones volquetes.

Cuya hipótesis alternativa es:

H15: No es posible reducir los cuellos de botella en la reparación de camiones volquetes, si se utiliza la simulación de sistemas.

De acuerdo a los resultados, se demuestra la Hipótesis Ho5.

Identificados los cuellos de botellas gracias a la simulación, se propone una serie de escenarios en los cuales se varía la cantidad de técnicos por taller de acuerdo a la frecuencia de mantenimiento preventivo.

Tabla 24
Tabla de Resultados de Tiempos y Montos, obtenidos por la Simulación

N° de Esc.	FREC. MTTO. PREV. (HRS.)	N° MEC.	N° ELEC.	N° SOLD.	T. DE PROC. DE MOVILIZ	T. EN ESP. PROM. MEC.	T. EN ESP. PROM. ELE	T. EN ESP. PROM. SOL	N° PROM. ESP. MEC.	N° PROM. ESP. ELE	N° PROM. ESP. SOL	MARGEN
1	350	1	1	1	107,922.01	0.79	0.24	0.39	14	6	9	181,310,617
2	350	2	1	1	107,951.01	0.35	0.23	0.4	6.2	5.75	9.23	181,339,574
3	350	2	1	2	107,885.61	0.37	0.25	0.18	6.56	6.25	4.15	181,211,701
4	250	1	1	1	107,879.57	0.62	0.19	0.42	11	4	7	181,242,208
5	250	2	1	1	107,973.46	0.29	0.21	0.4	5.15	4.42	6.67	181,377,368
6	250	2	1	2	107,941.95	0.31	0.24	0.19	5.5	5.05	3.17	181,306,326
7	250	2	2	1	107,970.94	0.33	0.15	0.4	5.85	3.16	6.67	181,356,402
8	250	2	2	2	107,965.61	0.32	0.16	0.18	5.68	3.37	3	181,328,674
9	200	1	1	1	107,935.16	0.51	0.18	0.38	9	4	6	181,332,867
10	200	2	1	1	107,938.66	0.26	0.2	0.4	4.59	4.44	6.32	181,318,565
11	200	2	2	1	107,969.74	0.28	0.09	0.42	4.94	2	6.63	181,438,069
12	200	2	1	2	107,972.45	0.25	0.21	0.23	4.41	4.67	3.63	181,443,125

El escenario n°1 es el escenario real

Fuente Propia

La Tabla 24 muestra que la mayor reducción que se logra en los cuellos de botella, es en el escenario 8, sin embargo esta reducción sólo mejora en un 0.02% el tiempo del proceso de movilización respecto al escenario real, es en el escenario 5 el que provee una mejora máxima en el tiempo de proceso de movilización, con un 0.047% respecto del escenario real.

Además se observa que el escenario que aporta el mayor margen de ingresos es el escenario 12, incrementando el ingreso en 0.073% y se mejora el tiempo en el proceso de movilización en un 0.42%.

De la simulación se observa que el escenario n° 12 es el que genera el mayor ingreso a la empresa; es decir contando con 2 mecánicos, 1 electricista y 1 soldador con una frecuencia de mantenimiento preventivo de 200 horas. Se infiere entonces que no es necesario contratar un electricista, más la contratación de un mecánico y un soldador beneficiaría tanto al proceso de movilización de materiales que se brinda como servicio al cliente interno: gerencia de operaciones, como a los ingresos percibidos por la empresa.

Se concluye que si lo que se desea es disminuir los cuellos de botella, mejorando el tiempo del proceso y asegurando el mayor ingreso económico.; se deberá contratar 1 mecánico y un soldador, además de realizar el mantenimiento preventivo cada 200 horas.

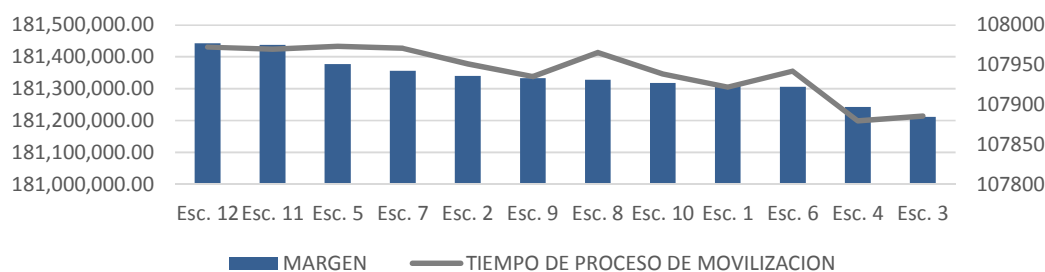


Figura 75. Resultados de Tiempos y Montos, obtenidos por la Simulación
Fuente: Elaboración propia

Por lo que se realiza la validación de la hipótesis Ho6:

Ho6: Si se utiliza la simulación de sistemas, entonces es posible determinar el personal necesario para disminuir los cuellos de botella.

Cuya hipótesis alternativa es:

H16: No es posible determinar el personal necesario para disminuir los cuellos de botella en la reparación de camiones volquetes, si se utiliza la simulación de sistemas.

De acuerdo a los resultados, se demuestra la Hipótesis H6.

Además los resultados de la simulación nos permiten comparar los beneficios entre un mayor margen de ganancia y una mejoría en el tiempo de operatividad de los camiones volquetes.

Tabla 25
Tiempos promedio en el proceso de movilización vs Margen de ganancia

N° de Escenario	N° HORAS FREC. MATTO. PREVENTIVO	N° MEC.	N° ELEC.	N° SOLD.	TIEMPO PROM. DE PROCESO DE MOVILIZACION	MARGEN
Esc. 5	250	2	1	1	107,973.46	181,377,368.47
Esc. 12	200	2	1	2	107,972.45	181,443,125.12
Esc. 7	250	2	2	1	107,970.94	181,356,402.51
Esc. 11	200	2	2	1	107,969.74	181,438,069.86
Esc. 8	250	2	2	2	107,965.61	181,328,674.23
Esc. 2	350	2	1	1	107,951.01	181,339,574.35
Esc. 6	250	2	1	2	107,941.95	181,306,326.65
Esc. 10	200	2	1	1	107,938.66	181,318,565.72
Esc. 9	200	1	1	1	107,935.16	181,332,867.79
Esc. 1	350	1	1	1	107,922.01	181,310,617.69
Esc. 3	350	2	1	2	107,885.61	181,211,701.03
Esc. 4	250	1	1	1	107,879.57	181,242,208.57

El escenario n°1 es el escenario real

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la Figura 76 se muestra el ranking de los escenarios de acuerdo a los tiempos promedios de operatividad obtenidos en la simulación.

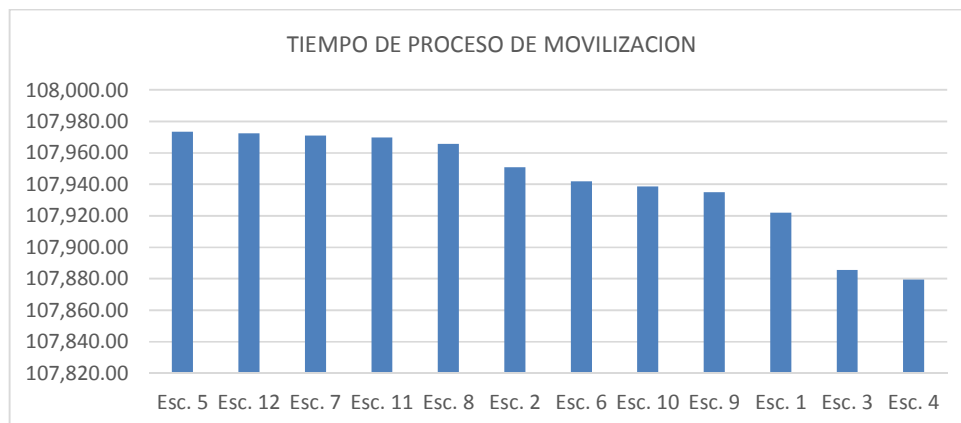


Figura 76. Ranking de escenarios de acuerdo al tiempo promedio de operatividad

Fuente: Elaboración propia

El escenario n°1 es el escenario real

El cuadro mostrado indica una mejora del tiempo de operatividad en el proceso de movilización en el escenario n°5, este tiempo adicional es de 51.41 horas, lo que representa un 0.0047% respecto del escenario real. Sin embargo el escenario que genera una mayor ganancia es el n°12, con un incremento de 0.073% respecto del escenario real.

Por lo que se realiza la validación de la hipótesis general H_0 :

H_0 : Si se utiliza la Teoría de Confiabilidad en un sistema simulado, entonces es posible mejorar el tiempo de operatividad de la flota de camiones volquetes de un proyecto de mantenimiento vial.

Cuya hipótesis alternativa es:

H_1 : No es posible mejorar el tiempo de operatividad de la flota de camiones volquetes de un proyecto de mantenimiento vial, si se utiliza la Teoría de Confiabilidad en un sistema simulado.

De acuerdo a los resultados, se demuestra la Hipótesis H_0 .

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

1. De la simulación se observa que el escenario n°5 es el que presenta la mayor mejora en el tiempo de operatividad respecto del escenario real, con un 0.0047% más de rendimiento. Además se incrementa el margen de ingreso en un 0.036% respecto al escenario real, lo que representa \$66,750.

Se concluye que si se desea disminuir los cuellos de botella, incrementando el ingreso económico y priorizando la mejora en el tiempo de operatividad; se deberá optar por el escenario n°5, es decir, contratar un mecánico más que atienda en el taller mecánico, y realizar el mantenimiento preventivo cada 250 horas.

2. Los montos destinados al mantenimiento correctivo y mantenimiento preventivo durante el 2013; representan el 80% de los costos destinados al mantenimiento de todos los equipos de la empresa en estudio.

Los equipos de producción (para el movimiento de tierra) son los que generan el mayor gasto en el mantenimiento correctivo, con un 86%.

La flota de camiones volquetes, cargadores frontales y excavadoras representan el 87% del gasto destinado al mantenimiento correctivo de equipos de producción.

La flota que genera mayor gasto dentro de los equipos de producción, es la flota de camiones volquetes con un 48%.

3. Los componentes críticos en los camiones volquetes son; componente bastidor, subsistema eléctrico, componente tolva, motor básico y subsistema de dirección; estos 5 componentes representan el 86.6% de todas las fallas presentadas en la flota camiones volquetes durante el 2013.
4. De acuerdo a los cálculos, obtenidos gracias a la teoría de confiabilidad se deduce que cualquier intervención de mantenimiento preventivo de frecuencia menor a 201.53 horas mejorará el rendimiento del camión volquete definiendo una tasa de fallas del 95%, así también para una tasa de fallas del 98%, cualquier intervención de mantenimiento preventivo de frecuencia menor a 256.29 horas mejorará el rendimiento del camión volquete.
5. De la simulación del sistema, en la Tabla 22, se aprecia que con los mismos recursos (número de técnicos), pero con una frecuencia de mantenimiento preventivo de 250 horas, se reduce en un 44% el tiempo destinado al mantenimiento correctivo en el escenario real.

Del mismo modo, un mantenimiento preventivo de 200 horas, implica una reducción en 54% del tiempo destinado al mantenimiento correctivo en el escenario real.

6. De la simulación se infiere que a pesar de reducir el tiempo destinado al mantenimiento correctivo, se generan cuellos de botella debido probablemente a la corta frecuencia en el mantenimiento que hace que los camiones volquetes pasen frecuentemente a los talleres.

7. De la simulación se observa que el escenario n° 12 es el que genera el mayor ingreso a la empresa, con un margen de ingreso adicional del 0.073% respecto al escenario real, lo que equivale a \$132,507 más de ingreso mensual. Además se mejora el tiempo de operatividad en un 0.42% respecto al escenario real.

Se concluye que si se desea disminuir los cuellos de botella, mejorando el tiempo del proceso y priorizando el mayor ingreso económico; se deberá optar por el escenario n°12, es decir, contratar un mecánico más que atienda en el taller mecánico, un soldador más que atienda en el taller de soldadura, y realizar el mantenimiento preventivo cada 200 horas.

5.2. Recomendaciones

1. Se recomienda considerar la implementación de la propuesta planteada en la conclusión n°1, en el Plan de Mantenimiento Preventivo 2015, es decir, planificar las intervenciones de mantenimiento preventivo a los camiones volquetes en base a 2 recursos en el Taller Mecánico, 1 recurso en el Taller Eléctrico y 1 recurso en el Taller de Soldaduría y una frecuencia de mantenimiento igual a 250 horas, ya que según el estudio realizado, esto mejoraría el tiempo de operatividad en un 0.0047% e incrementaría el margen de ingreso en \$66,750 mensual.
2. Se recomienda realizar un estudio similar a los cargadores frontales y excavadoras, ya que en la realización del análisis de costos, son estos ejemplares los que destinan costos elevados al mantenimiento de su flota (en conjunto con los camiones volquetes representan el 80% del gasto total de mantenimiento de la gerencia de equipos).
3. Se recomienda también examinar el impacto de las variables externas al sistema como; la altura, el ambiente, el clima, la temporada, etc.
4. Se recomienda realizar un estudio de este tipo para los proyectos de edificaciones y de construcción de carreteras, ya que esta investigación fue enfocada al estudio de la operatividad en un proyecto de mantenimiento vial de duración de 5 años, en condiciones diferentes.

REFERENCIAS

- Banks, J. (1998). *“Handbook of simulation”*. New jersey: Editorial EMP Books.
- Carrasco, S. (2009). *“Metodología de investigación científica”*. Lima: Editorial San Marcos.
- Collantes, J. (2013). *Artículo de investigación “Importancia de la Ingeniería de Confiabilidad en la Estrategia de la Gestión de Activos”*. CONIMERA 2013. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú - Capítulo de Ingeniería Mecánica y Mecánica Eléctrica.
- Da Costa, M. (2010). *Tesis de licenciatura “Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción”*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Fábregas, A. (2003). *“Simulación de sistemas productivos con Arena”*. Barranquilla: Editorial Uninorte.
- González, F. (2005). *“Teoría y Práctica del mantenimiento industrial avanzado”*. Madrid: Editorial FC.
- INEI (2013). *“Comportamiento de la Economía Peruana en el Tercer Trimestre de 2013”*. Lima: Informe Anual del INEI.
- Moreno, G. (2009). *Tesis de licenciatura “Diseño de un plan de mantenimiento de una flota de tractocamiones en base a los requerimientos en su contexto operacional”*. Puerto La Cruz: Universidad de Oriente.
- Muñoz, M. (2003). *Tutorial “Mantenimiento industrial”*. Madrid: Universidad Carlos III.
- Pascual, R. (2005). *Artículo de investigación “El arte de mantener”*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.

- Peralta, D. (2009). *Tesis de licenciatura “Sistema de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad Operacional de Perforadoras y Palas Eléctricas Bucyrus, en una mina a tajo abierto”*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Portilla, R. (1995). *“La Tesis Universitaria”*. Lima: Editorial San Marcos.
- Torres, P. (2010). *“Simulación de sistemas con el software Arena”*. Lima: Fondo Editorial de la Universidad de Lima.
- Winston, W. (2005). *“Investigación de operaciones”*. México: Editorial Thomson.
- Zapata, C. (2009). *Tesis de licenciatura “Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo para los equipos de la planta HyL II en la siderúrgica del Orinoco ‘Alfredo Maneiro’”*. Puerto Ordaz: Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre.

ANEXO

Anexo1

Tabla de clasificación de equipos según el trabajo que realiza

CLASE	SUBCLASE	DESCRIPCIÓN	TIPOS		
PRODUCCIÓN	MOVIMIENTO DE TIERRAS	Excavadoras	Retroexcavadoras	Excavadoras s/ Orugas	Excavadoras de Ruedas
		Tractores s/orugas			
		Motoniveladoras			
		Cargadores Frontales	Cargadores Frontales	Minicargadores	Dumpers
	COMPACTACIÓN	Compactadores de Base	Liso	Pata de Cabra	Vibratorio Liso
		Rodillos de Asfalto	Neumático	Mixto	Tandem Vibrat
	MÓVIL	Volquetes	1 eje	2 ejes	3 ejes
		Cisternas de Agua	1000 gal - en adelante		
		Camiones Concreteros	Mixer	Carmix	
	DISTRIBUCIÓN EMULSIÓN SLURRY	Imprimadores	Tanque (Asfalto)	Slurry	
	ASFALTO	Pavimentadoras			
	PLANTA	Plantas	Planta de Asfalto	Planta de Emulsión	
		Equipo de Chancado	Primaria	Secundaria	Terciaria
		Equipo Lavado de Agregados			
		Equipos de Zarandeo	Zaranda		
	IZAJE	Grúas	Torre	Automontante	S/ Orugas
	VEHÍCULO	CLASE (TRANSP. MERCANCIAS) N	Cisternas de Combustible	1000 gal - en adelante	
Camiones de Servicio			Lubricadores	Combustible	Baranda
Tractos			1 eje	2 ejes	3 ejes
CLASE (TRANSP. PERSONAL) M		Buses			
		Minibuses			
		Autos y Camionetas	Auto	Camioneta Pick Up	Camioneta Rural
CLASE (REMOLQUE) O		SemiRemolques	Cama Baja	Plataforma	
CLASE (LIGERO) L		Motocicletas	Gasolinera		

CLASE	SUBCLASE	DESCRIPCIÓN	TIPOS		
AUXILIAR	HERRAMIENTAS	Equipo de bombeo (*)	Motobombas	Electrobombas	
		Martillos (*)	Hidráulicos(c/acopl e para máquinas)	Neumático Perforador	Neumático Rompepavimientos
		Torres de Iluminación (*)	T. Iluminación		
		Compresoras de Aire (*)			
		Grupos Electrógenos (*)			
		Equipos de Soldadura (*)	Motosoldadora	Soldadora Eléctrica	Soldadura autógena
		Equipos de Reparación de Juntas	Cortadora	Rellenadora	
		Equipo para Concreto	Reglas Vibrat	Vibradores Eléctricos	Vibradores Combustión
		Compactadores de Base	Vibroapizonador Gasolina	Vibroapizonador Diesel	Plancha Compac.
		Desbrozadoras			
		Motosierra			
		Cizalla p/varillas de Acero			
		Tecele			
		Hidrolavadoras	Eléctrica	Gasolina	
		Equipo dispensador de combustible			
	TIRO	Tractores de Tiro			
	ELEVACIÓN	Montacargas	Montacargas	Torre elevadora	
	CALENTAMIENTO	Calentador de Aceite	400 kw - en adelante		
		Calentador de Asfalto	Concina de Asfalto		
	ALMACENAMIENTO	Container	20 pies	40 pies	
		Tanque Flexible			
		Tanque Estacionario			
		Campers	10 pies	20 pies	30 pies
	DISTRIBUIDOR	Esparcidoras	De Agregados		
		Barredoras	Montaje Frontal	Montaje Central	
		Distribuidores de Agregados	De tiro		

(*) Equipos que, si exceden el valor monetario o duración límite establecido por Finanzas, se adquirirá como activo y se valorizará.

Fuente: Intranet de la Empresa en estudio.