UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA INFORMÁTICA BASADA EN EL MÉTODO JACK-KNIFE PARA EL ANÁLISIS DE FALLAS Y COSTOS EN FLOTAS DE TRANSPORTE

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico Automotriz

AUTORES: JUAN DIEGO AULESTIA ESPINOSA
ANGEL FERNANDO GUERRERO ROMERO
TUTOR: ING. CRISTIAN LEONARDO GARCÍA GARCÍA, MSc.

Cuenca - Ecuador

2022

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Juan Diego Aulestia Espinosa con documento de identificación N° 1105646572 y Angel Fernando Guerrero Romero con documento de identificación N° 0706430675; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de maneta total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 19 de abril del 2022

Atentamente,

Juan Diego Aulestia Espinosa	Angel Fernando Guerrero Romero
1105646572	0706430675

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Juan Diego Aulestia Espinosa con documento de identificación N° 1105646572 y Angel Fernando Guerrero Romero con documento de identificación N° 0706430675, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: "Desarrollo de una herramienta informática basada en el método Jack-Knife para el análisis de fallas y costos en flotas de transporte", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 19 de abril del 2022

Atentamente,

Juan Diego Aulestia Espinosa

1105646572

Angel Fernando Guerrero Romero

0706430675

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Cristian Leonardo García García con documento de identificación N° 0103898318, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaró que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA INFORMÁTICA BASADA EN EL MÉTODO JACK-KNIFE PARA EL ANÁLISIS DE FALLAS Y COSTOS EN FLOTAS DE TRANSPORTE, realizado por Juan Diego Aulestia Espinosa con documento de identificación N° 1105646572 y por Angel Fernando Guerrero Romero con documento de identificación N° 0706430675, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 19 de abril del 2022

Atentamente,

Ing. Cristian Leonardo García García, MSc.

0103898318

DEDICATORIA

Este logro lleva la carga emocional de todas las personas que han sabido estar en los buenos y malos momentos, esas personas que, aunque no presenten en un cuerpo físico quizás nos acompañan en el infinito con mucha esperanza y confianza depositando ese instinto de anhelo de que tiempos mejores llegarán.

No es el final de cualquier proyecto, es el final de un camino personal y así se baja el telón ante la meta que más cariño le hemos construido. Gracias por la confianza y el apoyo, gracias a los obstáculos que se presentaron y que nos han hecho mejorar en todos los aspectos…

RESUMEN

El presente proyecto busca resolver la problemática existente al momento de clasificar las fallas de un sistema según el impacto que tengan sobre la línea de producción. Las actividades de mantenimiento mediante el método de dispersión logarítmica Jack Knife permite juzgar dichas acciones para optimizar el tiempo de disponibilidad del equipo.

Dentro del mantenimiento existen índices que destacan por la posibilidad de aplicación de sus resultados en la mejora del proceso, en la reducción de costos, en la mejora de la calidad, en la preservación del medio ambiente y en la optimización de servicios.

Los índices que destacan son tiempo promedio entre fallas, tiempo promedio para reparación, disponibilidad del equipo, costos de reparación. Estas variables son tomadas en consideración debido a que están presentes durante la vida útil de máquina.

La metodología en la cual se basa el método Jack Knife tiene como fin determinar las prioridades del mantenimiento, ubicando estas actividades en un diagrama de dispersión junto a los indicadores, dando como resultado un gráfico multicriterio ordenando los elementos de mayor criticidad.

Palabras clave: Acción, mantenimiento, impacto, productividad, disponibilidad, dispersión logarítmica, gráfico multicriterio.

ABSTRACT

This project seeks to solve the existing problem when classifying the failures of a system according to the impact they have on the production line. Maintenance activities using the Jack Knife logarithmic dispersion method allow these actions to be judged in order to optimize the availability time of the equipment.

Within maintenance there are indices that stand out for the possibility of applying their results to process improvement, cost reduction, quality improvement, environmental preservation and service optimization.

The indices that stand out are mean time between failures, mean time to repair, equipment availability, repair costs. These variables are taken into consideration because they are present during the useful life of the machine.

The methodology on which the Jack Knife method is based is intended to determine maintenance priorities, placing these activities in a scatter plot next to the indicators, resulting in a multi-criteria graph ordering the most critical elements.

Keywords: Action, maintenance, impact, productivity, availability, logarithmic dispersion, multicriteria graph.

INDICE GENERAL

1 Introducción 1
2 Problema 2
2.1 Antecedentes 2
2.2 Importancia y alcances 2
2.3 Delimitación 3
3 Objetivos 4
3.1 Objetivo General 4
3.2 Objetivos Específicos 4
CAPITULO I 5
4 Tipos de intervención de mantenimiento 5
4.1 Estrategias 8
4.1.1 Mantenimiento antes de la falla 9
4.1.2 Mantenimiento preventivo 10
4.1.3 Mantenimiento oportunista 10
4.2 Costos 11
4.2.1 Costo capital fijo 11
4.2.2 Costo operacional 12
4.2.3 Costo de ineficiencia 12
4.3 Método Jack-Knife 13
4.3.1 Análisis Jack Knife de Costos 17
4.4 Mantenibilidad 19
4.5 Confiabilidad 19
4.6 Análisis de la Confiabilidad. 19
4.7 Costo Mano de Obra Total 20
4.8 Costo Total 21
4.9 Tiempo Total para Reparar (STTR) 21
4.10 Método Jack Knife Aplicado a las Fallas 21
4.10.1 Total de Fallas 21
4.10.2 Tasa de Fallas 22
4.10.3 MTTR 22
4.11 Método Jack Knife Aplicado a los Costos 22
4.11.1 Costo Global Especifico 23
4.11.2 Indisponibilidad 23
4.11.3 Costo Global 24
4.12 Tipos de Máquinas 24
4.12.1 Rodillo Ingersoll Rand SD100D 24
4.12.2 Motoniveladora John Deere 670-C 24

4.12.3 Retroexcavadora John Deere 410E 25
4.12.4 Cargadora Caterpillar 950G 25
4.12.5 Tractor Caterpillar D7R 26
CAPITULO II 27
5 Alistamiento de máquinas 27
5.1 Recolección de Datos 28
5.1.1 Clasificación de equipos.....28
5.2 Aplicación del Método Jack Knife en Rodillo Ingersoll Rand SD-100D B ...28
5.2.1 Cálculo de Fallas 28
5.2.2 Cálculo de Costos.....42
5.2.3 Gráfica de Indicadores 58
5.3 Aplicación del Método Jack Knife en la Motoniveladora Komatsu 65
5.3.1 Cálculo de Fallas 66
5.3.2 Cálculo de Costos.....79
5.3.3 Gráfica de Indicadores 95
5.3.4 Gráfica de Fallas.....97
5.3.5 Gráfico de costos 100
5.4 Aplicación del Método Jack Knife sobre las Máquinas.....102
5.4.1 Cargadora CATERPILLAR 950G 103
5.4.2 Tractor CATERPILLAR D7R 104
5.4.3 Excavadora KOMATSU PC-200 LC-8.....105
CAPÍTULO III 106
6 Introducción de Microsoft Visual Basic para Aplicaciones.....106
6.1 Programación de una Herramienta Informática 106
6.2 Diseño de la Plantilla del Programa 107
6.3 Diseño del Botón Menú.....107
6.4 Diseño de la Interfaz “ANÁLISIS DE FALLAS” 109
6.5 Diseño de la Interfaz de Análisis de Fallas Correspondientes al Rodillo 110
6.6 Diseño de la Interfaz “ANÁLISIS DE COSTOS” 112
6.7 Diseño de la Interfaz de Análisis de Costos Correspondientes al Rodillo 114
6.8 Diseño de la Interfaz Nueva Actividad 115
6.9 Diseño de la Interfaz Nueva Máquina.....120
6.10 Registro de una Nueva Máquina 121
6.11 Aplicar el Método Jack Knife al Caso Practico 123
6.12 Resultados 126
6.12.1 Análisis de la Gráfica de Fallas.....127
6.12.2 Análisis de la Gráfica de Costos 128
6.13 Perfil y Alcance de la Herramienta Informática.....129
6.14 Plan de Mantenimiento Enfocado a los Índices de Criticidad 130
6.14.1 Gama de Mantenimiento 130
6.15 Ventajas de Disponer un Plan de Mantenimiento 131

7 Conclusiones 132
8 Bibliografía.....134
9 Anexos.....135

Tabla de Ilustraciones.

Figura 1 Costos de Intervención y de Falla 6

Figura 2 Estrategias Posibles 8

Figura 3 Curvas de Costos Globales 12

Figura 4 Diagrama Jack Knife 13

Figura 5 Cuadrantes Jack Knife 14

Figura 6 Jack Knife de Tiempos 15

Figura 7 Jack Knife para Artículos que Funcionan a Máxima Disponibilidad. 16

Figura 8 Jack Knife en los que la Minimización de Costos es la Prioridad 17

Figura 9 Dispersión de Costos 18

Figura 10 Funciones Densidad de Probabilidad f(t), Probabilidad de Falla F(t) y Confiabilidad R(t) 20

Figura 16 Calculo de Total de Fallas del Rodillo 30

Figura 17 Cálculo de la tasa de fallas de las actividades 33

Figura 18 Cálculo del MTTR de las actividades de falla de cada sistema 38

Figura 19 Cálculo del Costo Global Especifico 44

Figura 20 Cálculo de la indisponibilidad 49

Figura 21 Cálculo del costo global 54

Figura 22 Gráficas de Fallas y Costos con el Método de Dispersión Logarítmica Jack Knife 59

Figura 23 Tabla de Gráfico de Fallas (Iso Tasa de Fallas) 60

Figura 24 Tabla de Gráfico de Fallas (Iso MTTR) 61

Figura 25 Tabla de Gráfico de Fallas (Iso Indisponibilidad) 62

Figura 26 Tabla de Gráfico de Costos (Costo Global Especifico) 63

Figura 27 Tabla de Gráfico De Costos (Indisponibilidad) 64

Figura 28 Tabla de Gráfico de Costos (Costo Global) 65

Figura 29 Cálculo de Total de Fallas de la Motoniveladora 67

Figura 30 Cálculo de la Tasa de Fallas 70

Figura 31 Cálculo del MTTR de las actividades de falla de cada sistema 75

Figura 32 Cálculo del Costo Global Especifico 81

Figura 33 Cálculo de la indisponibilidad 86

Figura 34 Cálculo del costo global 91

Figura 35 Gráficas de Fallas y Costos aplicando el Método Jack Knife 96

Figura 36 Tabla de Gráfico de Fallas (Iso Tasa de Fallas) 97

Figura 37 Tabla de Gráfico de Fallas (Iso MTTR) 98

Figura 38 Tabla de gráfica de fallas (Iso indisponibilidad) 99

Figura 39 Tabla de gráfico de costos (Costo Global Especifico) 100

Figura 40 Tabla de gráfico de costos (Indisponibilidad) 101

Figura 41 Tabla de gráfico de costos (Costo Global) 102

Figura 42 Cargadora CATERPILLAR empleando el método Jack Knife 103

Figura 43 Tractor CATERPILLAR empleando el método Jack Knife 104

Figura 44 Excavadora KOMATSU empleando el método Jack Knife 105

Figura 45 Diseño del botón MENÚ 107

Figura 46 Interfaz del menú (Análisis de fallas) 107

Figura 47 diagrama de flujo del menú 108

Figura 48 Diseño del botón "ANÁLISIS DE FALLAS" 109

Figura 49 Interfaz del botón correspondiente a Análisis de fallas 110

Figura 50 Gráficas de fallas correspondiente a la máquina seleccionada 110

Figura 51 Diagrama de flujo de la interfaz de análisis de fallas 111

Figura 52 Interfaz del menú (Análisis de costos)..... 112

Figura 53 Interfaz del botón correspondiente a Análisis de costos..... 113

Figura 54 Diagrama de flujo de la interfaz análisis de costos..... 113

Figura 55 Gráficas de costos correspondiente a la máquina seleccionada..... 114

Figura 56 Interfaz del menú (Nueva actividad) 115

Figura 57 Interfaz del botón Nueva Actividad..... 116

Figura 58 Lista desplegable correspondiente a máquina. 116

Figura 59 Lista desplegable correspondiente a sistema 117

Figura 60 Lista desplegable correspondiente a Actividad 118

Figura 61 Mensaje emergente avisando que la actividad fue registrada..... 118

Figura 62 Diagrama de flujo de la interfaz Nueva Actividad 119

Figura 63 Interfaz del menú (Nueva Máquina)..... 120

Figura 64 Interfaz del botón Nueva Máquina 122

Figura 66 Diagrama de flujo del programa 123

Figura 67 Actividades para la prueba de programa..... 124

Figura 68 Diagrama de dispersión de fallas 125

Figura 69 Diagrama de dispersión de costos..... 126

Figura 70 Análisis de la gráfica de fallas 127

Figura 71 Análisis de la gráfica de costos..... 128

Índice de Tablas

Tabla 1 Mantenimiento Preventivo 10

Tabla 2 Resultado para el cálculo de tasa de falla del sistema de motor 34

Tabla 3 Resultado del cálculo del MTTR del sistema del motor 39

Tabla 4 Resultado del cálculo del MTTR del sistema de transmisión 40

Tabla 5 Resultado del cálculo del MTTR del sistema de la dirección 40

Tabla 6 Resultado del cálculo del MTTR del sistema eléctrico 41

Tabla 7 Resultado del cálculo del MTTR del sistema hidráulico 41

Tabla 8 Resultado del cálculo del MTTR del sistema de chasis y carrocería 42

Tabla 9 Cálculo del costo global especifico del sistema del motor 45

Tabla 10 Cálculo del costo global especifico del sistema de transmisión 46

Tabla 11 Cálculo del costo global especifico del sistema de dirección 46

Tabla 12 Cálculo del costo global especifico del sistema de eléctrico 47

Tabla 13 Cálculo del costo global especifico del sistema hidráulico 47

Tabla 14 Cálculo del costo global especifico del sistema de chasis y carrocería 48

Tabla 15 Cálculo de indisponibilidad del sistema motor 50

Tabla 16 Cálculo de indisponibilidad del sistema de transmisión 51

Tabla 17 Cálculo de indisponibilidad del sistema de dirección 51

Tabla 18 Cálculo de indisponibilidad del sistema eléctrico 52

Tabla 19 Cálculo de indisponibilidad del sistema hidráulico 52

Tabla 20 Cálculo de indisponibilidad del sistema de chasis y carrocería 53

Tabla 21 Cálculo del costo global del sistema de motor 55

Tabla 22 Cálculo del costo global del sistema de transmisión..... 56

Tabla 23 Cálculo del costo global del sistema de dirección 56

Tabla 24 Cálculo del costo global del sistema eléctrico 57

Tabla 25 Cálculo del costo global del sistema hidráulico 57

Tabla 26 Cálculo del costo global del sistema de chasis y carrocería..... 58

Tabla 27 Resultado para el cálculo de tasa de falla del sistema de motor 71

Tabla 28 Resultado para el cálculo de tasa de falla del sistema de transmisión 72

Tabla 29 Resultado para el cálculo de tasa de falla del sistema de dirección 72

Tabla 30 Resultado para el cálculo de tasa de falla del sistema eléctrico 73

Tabla 31 Resultado para el cálculo de tasa de falla del sistema hidráulico 73

Tabla 32 Resultado para el cálculo de tasa de falla del sistema de chasis y carrocería 74

Tabla 33 Resultado del cálculo del MTTR del sistema del motor 76

Tabla 34 Resultado del cálculo del MTTR del sistema de transmisión 77

Tabla 35 Resultado del cálculo del MTTR del sistema de la dirección 77

Tabla 36 Resultado del cálculo del MTTR del sistema eléctrico..... 78

Tabla 37 Resultado del cálculo del MTTR del sistema hidráulico 78

Tabla 38 Resultado del cálculo del MTTR del sistema de chasis y carrocería 79

Tabla 39 Cálculo del costo global especifico del sistema del motor 82

Tabla 40 Cálculo del costo global especifico del sistema de transmisión 83

Tabla 41 Cálculo del costo global especifico del sistema de dirección 83

Tabla 42 Cálculo del costo global especifico del sistema de eléctrico 84

Tabla 43 Cálculo del costo global especifico del sistema hidráulico..... 84

Tabla 44 Cálculo del costo global especifico del sistema de chasis y carrocería 85

Tabla 45 Cálculo de indisponibilidad del sistema motor 87

Tabla 46 Cálculo de indisponibilidad del sistema de transmisión 88

Tabla 47 Cálculo de indisponibilidad del sistema de dirección 88

Tabla 48 Cálculo de indisponibilidad del sistema eléctrico 89

Tabla 49 Cálculo de indisponibilidad del sistema hidráulico 89

Tabla 50 Cálculo de indisponibilidad del sistema de chasis y carrocería 90

Tabla 51 Cálculo del costo global del sistema de motor 92

Tabla 52 Cálculo del costo global del sistema de transmisión 93

Tabla 53 Cálculo del costo global del sistema de dirección 93

Tabla 54 Cálculo del costo global del sistema eléctrico 94

Tabla 55 Cálculo del costo global del sistema hidráulico 94

Tabla 56 Cálculo del costo global del sistema de chasis y carrocería 95

1 Introducción

El desarrollo de este proyecto empieza con la recopilación de la data histórica de fallas que tiene la flota de transporte acerca de las máquinas desde su fecha de adquisición hasta la fecha. La base de datos en primera instancia se clasificó por sistemas, por ejemplo; motor, transmisión, dirección, entre otros. Luego de clasificar todas las fallas presentes en cada máquina se procedió a clasificar por el número de veces que ha fallado la máquina en un año de producción, los costos de mantenimiento y el tiempo que la máquina queda fuera de servicio, para luego determinar cuál de estas fallas representan un paro significativo en la producción de las maquinarias.

2 Problema

2.1 Antecedentes

La problemática que se aborda en el proyecto es que en la actualidad para la gestión de mantenimiento en flotas de transporte no se cuenta con una herramienta informática que, a través de métodos estadísticos de análisis multicriterio, apoye la construcción de indicadores cuantitativos (MTBF y MTTR) y por medio de ésta, obtener un entorno gráfico que permita priorizar las tareas y costos involucrados con los activos.

2.2 Importancia y alcances

El beneficio de la herramienta informática desemboca en la priorización de actividades de mantenimiento dentro de una compañía, de tal forma que minimice el impacto catastrófico que tuviesen dichas actividades sobre el potencial de crecimiento y rentabilidad de la compañía que piensa en el futuro. Así se obtendrá un software que apoyará a las tomas de decisiones mediante el análisis o convergencia de los equipos redundantes, decisiones estratégicas basadas en la valorización del tiempo de operación y consumo de energía.

La identificación de tendencias, con el seguimiento de las actividades de mantenimiento más críticas y agudas que presenten el software, iniciando la formación de un banco de datos, para la identificación de las actividades corruptas.

El alcance del proyecto planteado recae sobre cualquier empresa cualesquiera que fuese su función laboral, con la única razón que esta cuente con maquina en general para cumplir la finalidad de la herramienta informática, otro uso que pudiese tener esta aplicación es la de auditorías sobre activos regidos sobre la norma ISO-5500.

2.3 Delimitación

Este proyecto contribuye a una empresa que se encuentra en la ciudad de Cuenca y se encarga del transporte de maquinaria pesada dentro y fuera del país. Debido a estipulaciones y condiciones propuestas por parte de la empresa al entregar los datos, las menciones son de suma confidencialidad debido a políticas internas de la compañía.

3 Objetivos

3.1 Objetivo General

- Desarrollar una herramienta informática utilizando un software de programación para el análisis de fallas y costos en flotas de transporte.

3.2 Objetivos Específicos

- Estudiar atreves del método analítico el método de dispersión logarítmica Jack-Knife.
- Recopilar datos históricos de las fallas de los equipos y costos de reparación mediante entrevistas con auditoria de una empresa de transporte.
- Diseñar una herramienta informática utilizando un software de programación.

CAPITULO I

Introducción

En la actualidad lo más habitual en cualquier empresa y en este particular caso una flota de transporte es realizar un análisis exhaustivo sobre los costos de mantenimiento y las fallas en las unidades, tales indicadores pueden distorsionar el presupuesto e incurrir negativamente en la planificación de años venideros. Estos factores se pueden representar en:

- El tipo de mantenimiento que se vaya a aplicar sobre una unidad defectuosa y necesite una opinión multicriterio para su solución, sin que intervenga en la planificación económica dentro de la flota.
- La renovación de las herramientas o equipos de trabajo pueden ser una inversión a largo plazo que a beneficiarán a la empresa y de igual manera reducirán los tiempos de mantenimiento viéndose reflejados estos en los costos de mantenimiento.

4 Tipos de intervención de mantenimiento

El mantenimiento es parte fundamental dentro de una empresa, aún de mucha más importancia dentro de una flota de transporte. Los distintos tipos de intervenciones de mantenimiento que tienen relevancia son los siguientes:

1. Mantenimiento rutinario o predictivo correspondiente al momento que el equipo funciona cumpliendo las estipulaciones primordiales de la empresa.
    - Red de mantenimiento preventivo por rutas de producción.
    - Plan de mantenimiento rutinario.
2. Mantenimiento preventivo, detenimiento del equipo no afecta a la línea de producción.

- Equipo superfluo dentro de la producción.

3. Mantenimiento correctivo.

    - Equipo sumamente importante dentro de la línea de producción y su tiempo fuera de servicio causa perdida.

Los dos primeros permiten planificar libremente y no presentan contratiempos; sin embargo, el ultimo tipo de mantenimiento es el más conflictivo y necesita atención una planificación estructurada minuciosamente para que las paradas de producción afecten en menor media. (Pascual, 2004)

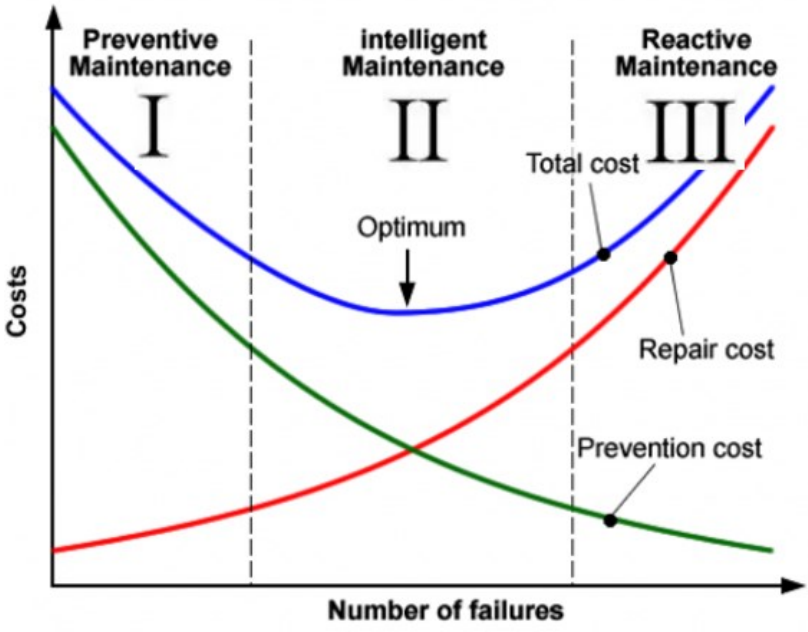


Figura 1 Costos de Intervención y de Falla

Fuente: (veedor, 2015)

I. Dentro del cuadrante, la localización I que representa el Mantenimiento preventivo, el punto inicial radica en el momento de adquisición de la máquina, es decir desde

donde se llevará acabo el planteamiento del plan de mantenimiento; como se aprecia en la imagen tanto el costo total (total cost) y el costo de prevención (prevention cost) son altos, esto se debe al gasto de compra del equipo, ya que es tomado en cuenta; sin embargo, el costo de reparación (repair cost) es en comparación bajo debido a que hasta el momento no presentará fallas gracias a su estado de reciente adquisición.

II. (**intelligent maintenance**) Mantenimiento inteligente es el momento donde el equipo se estabilizará, las curvas del (total cost) costo total, (repair cost) costo de reparación y el (preventive cost) costo preventivo llegan a intersecar resultando en un equilibrio del activo.

III. El ultimo tipo de intervención es el mantenimiento reactivo (reactive maintenance) donde el costo total y el costo de reparación están en su auge máximo debido a la producción y al tiempo de trabajo de la máquina, donde notablemente sus elementos ya presentan desgaste y deterioro viéndose reflejadas en el incremento del número de fallas, llevando a un incremento de los costos totales y los costos de reparación similares al momento donde se adquirió la máquina y con un notable decremento de los costos de prevención debido al estado obsoleto de la máquina.

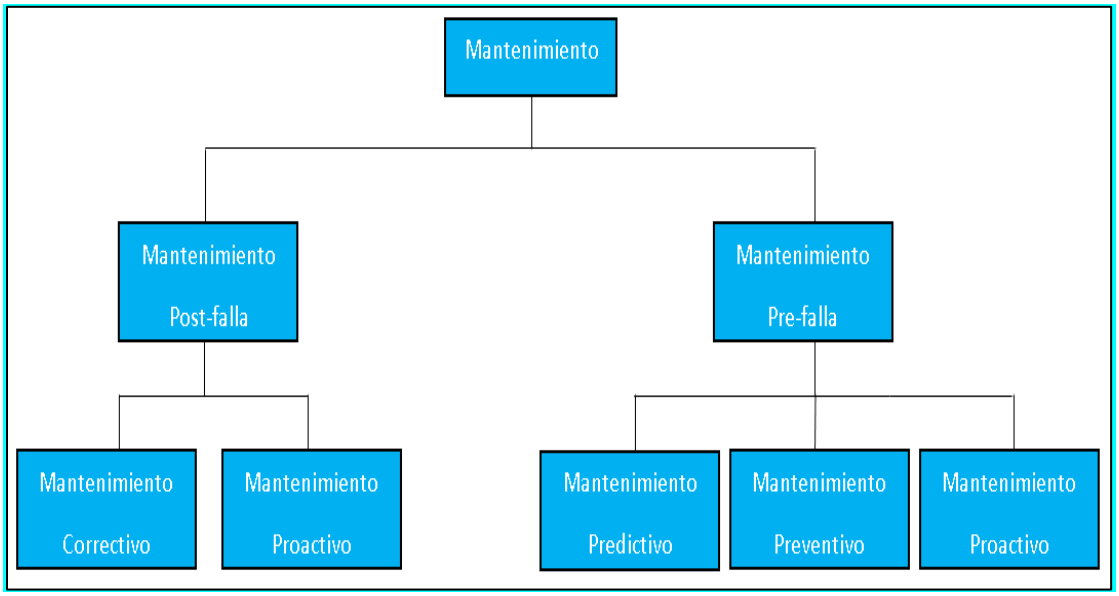


Figura 2 Estrategias Posibles

Fuente: Autores

4.1 Estrategias

Los planes de mantenimiento que se presentan para solucionar las fallas deben cumplir con especificaciones que mantengan el óptimo el servicio prestado por el equipo.

- Conservar las actividades de las máquinas con el menor tiempo fuera de servicio posible.
- El plan de mantenimiento debe de anticiparse y minimizar la cantidad de fallas.

De igual manera los tipos de mantenimientos que deben de ser utilizados para la eficacia del programa de mantenibilidad son:

- Mantenimiento predictivo en función al estado del equipo.
- Mantenimiento preventivo en función al tiempo de funcionamiento.

- Mantenimiento correctivo cuando se manifiesta una falla.
- Mantenimiento proactivo haciendo énfasis en combatir los factores negativos que pueden desembocar en una falla progresiva. (Pascual, 2004)

4.1.1 Mantenimiento antes de la falla

Tales como mantenimientos (predictivo, preventivo y proactivo) son las herramientas que priorizan los elementos que podrían afectar negativamente al desempeño de la máquina. Un método que usualmente se aplica para la implementación de estos mantenimientos, es el listado de los elementos que componen los sistemas del equipo. Como pueden ser: engranajes, retenedores, rodamientos¸ etc.

De la misma manera es eficaz determinar la frecuencia con la que los elementos de los sistemas son reemplazados, esto para establecer un patrón de ciclo de vida normalizado. Realizar un registro sobre el comportamiento de los elementos para la detección de futuras fallas y la valorización de los costos destinados para la solución de fallas. (Campbell et al., 2010)

Tabla 1 *Mantenimiento Preventivo*

Clase	Tipo	Componente	
Mecánica	Reemplazo	- Aceite - Filtros - Piezas de desgaste (frenos)	- Rodamientos - Juntas - Resortes - Filtros
	Regulación	- Juegos/interferencias	
	Presión	- Tensión (correas) - Presión	- Niveles
Eléctrica	Reemplazo	- Contactos - Componentes asociados a fallas térmicas	- Relés - Fusibles
	Regulación	- Impedancia	
	Chequeo	- Valor de voltaje	- Valor de resistencia

4.1.2 Mantenimiento preventivo

Es de suma importancia este tipo de mantenimiento ya que como se a mencionado anteriormente, es de impacto negativo la detención de la máquina por el entorpecimiento de la línea de producción. De allí nace que los planes de mantenimiento se basen en prevenir fallas estableciendo programas en función al tiempo. (Pascual, 2004)

4.1.3 Mantenimiento oportunista

El mantenimiento oportunista surge de la fusión del mantenimiento correctivo y el mantenimiento preventivo. El principio de este mantenimiento es mantener la disponibilidad del

equipo y disminuir el costo global que conlleva solucionar la falla. La estrategia es válida únicamente cuando para reemplazar un componente es necesario desmontar una gran parte del sistema de la máquina. (veedor, 2015)

4.2 Costos

Existen un número estimado de variables que intervienen al momento de calcular los costos de un activo. Lo más común es que se subestima el valor real que cuesta tener una máquina en óptimas condiciones y aportando favorablemente a la producción. El valor que se estima al ciclo de vida del equipo se diseña reconociendo las operaciones que se desempeñaran adicionando demás factores que servirán para la prolongación del servicio que preste el equipo a lo largo de su vida útil. (Kale et al., 2016).

Es de suma importancia realizar un análisis de los costos a lo largo de la vida útil del activo tales como costos por planificación, producción, desarrollo, investigación, operación para planear la futura supresión de ese equipo de la línea de producción (Tsang et al., 1999). Estos estudios son de vital necesidad ya que permiten la adquisición oportuna de nuevos equipos sin afectar la productividad. (Campbell et al., 2010).

4.2.1 Costo capital fijo

El costo capital fijo (o de inversión) es el cual se determina mediante el costo neto de adquisición del activo y los costos asociados como pueden ser instalación, formación de los operarios, mantenimiento, etc. (Martínez et al., 2012)

4.2.2 Costo operacional

Son los costos que se generan por la puesta en marcha del equipo, como estos pueden ser: (Martínez et al., 2012)

- Insumos,
- Energía,
- Repuestos, etc.

4.2.3 Costo de ineficiencia

Los responsables del origen de este factor son los costos que se presentan por la indisponibilidad al momento de evaluación de equipos. (Martínez et al., 2012)

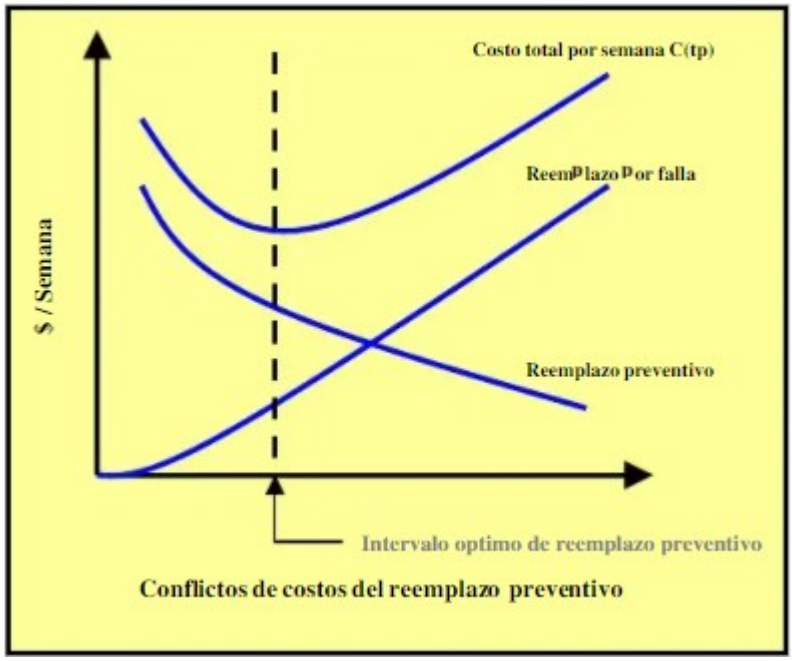


Figura 3 Curvas de Costos Globales

Fuente: (Campbell et al., 2010)

4.3 Método Jack-Knife

En una empresa según (Pascual, 2009) los factores de los cuales más se carece son tiempo, materiales, humanos, etc. Este el reto que se debe afrontar por parte de la administración. Aunque para enfrentar el problema existen distintos métodos que ayudan a reorganizar y priorizar los insumos.

El diagrama de Jack Knife de tiempos es un gráfico de dispersión logarítmica como lo muestra la Figura 4, su objetivo es priorizar eventos dentro de un marco regido por el mantenimiento. En este método se grafican puntos en función a parámetros; dentro de estos parámetros los ejes directrices son por parte de las ordenadas el factor del tiempo fuera de servicio (TPS) que se obtiene cada vez que la máquina queda detenida intempestivamente, mientras que en las abscisas están en función la frecuencia de paradas. (Córdova, 2014)

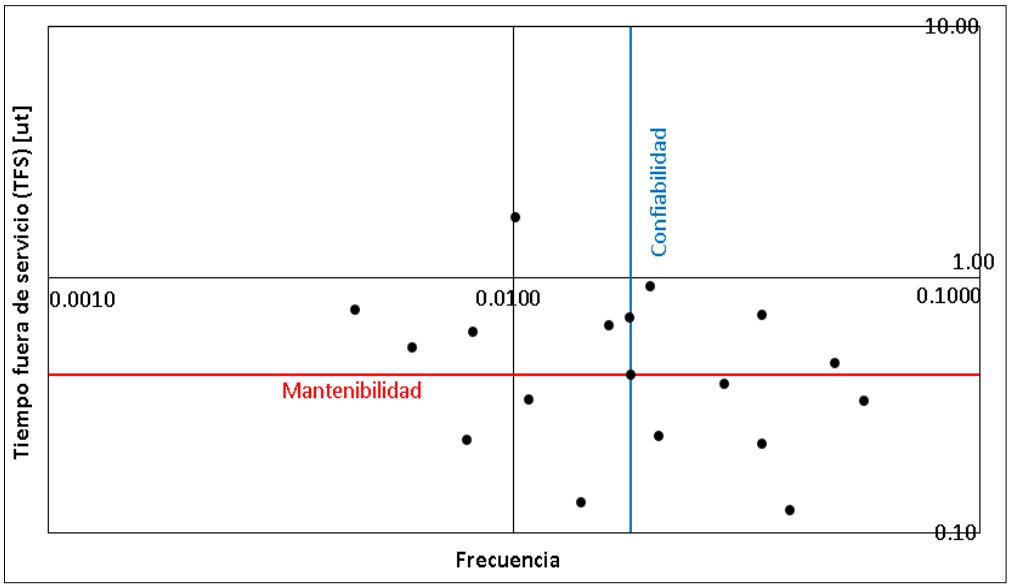


Figura 4 Diagrama Jack Knife

Fuente: Autores

Dentro del método Jack Knife (Louit et al., 2011) dicta que los cuadrantes del plano se clasifican en categorías que son:

- Cuadrante con las fallas que son agudas, las cuales presentan una mayor duración de tiempo fuera de servicio.
- Cuadrante donde las fallas son crónicas, se caracterizan por ser repetitivas y no tienen un gran impacto en el tiempo fuera de servicio (TFS).
- Cuadrante en donde fallas que aparecen son agudas y crónicas, tienen un considerable TFS y son repetitivas.
- El cuadrante con fallas inertes no aparece con frecuencia y tienen poco o nulo impacto en el TFS.

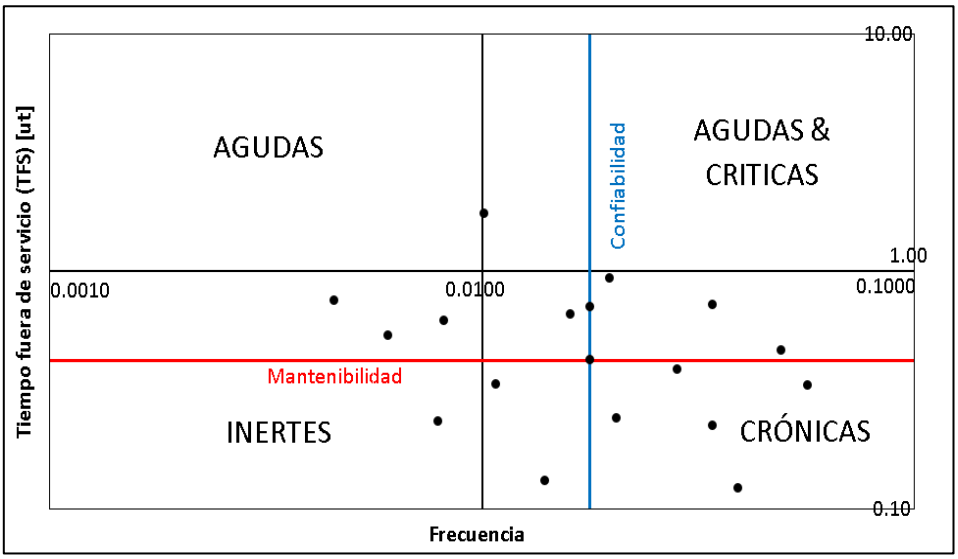


Figura 5 Cuadrantes Jack Knife

Fuente: Autores

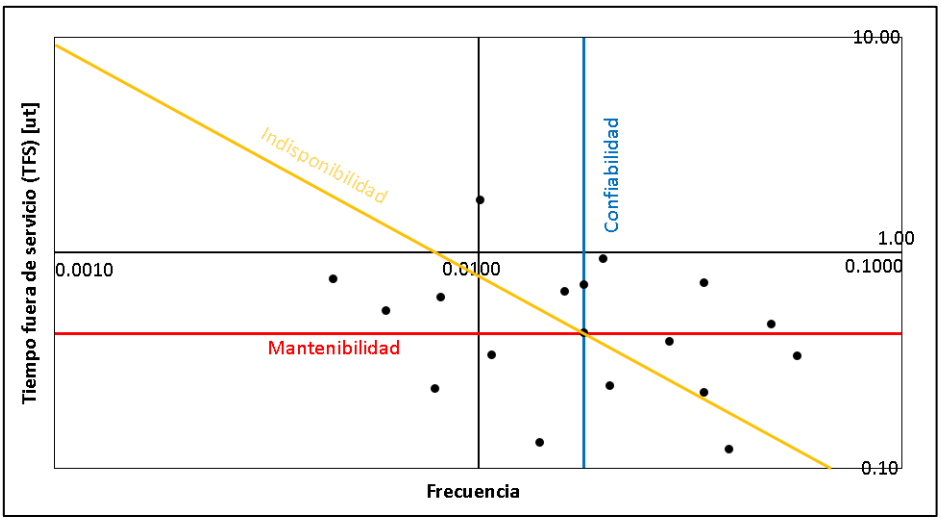


Figura 6 Jack Knife de Tiempos

Fuente: Autores

Mediante este método se da prioridad a los elementos que presentan importancia dentro de los sistemas, es decir, su ausencia se refleja con el incremento del TFS del equipo. Así mismo, permite enfocarse en los elementos con un mayor costo de reparación. Esto ayuda aumentando la productividad y mejorando el nivel de mantenimiento.

En el diagrama Jack Knife que se muestra en la Figura 6 ejemplifica un equipo con mayor disponibilidad. (Jardine & Tsang, s. f.)

El ejemplo que se muestra en la Figura 6 propone un escenario donde se analiza los elementos que radican en el cuadrante de fallas agudas, lo que conlleva como consecuencia un alto tiempo fuera de servicio (TFS) en los elementos existentes. En esta situación, es claro interpretar que el costo de producción que representa perdida, es mucho mayor que el costo de reparación y el de mantenimiento. La solución que se plantea es aumentar la prioridad sobre los elementos mejorando su mantenimiento. (Jardine & Tsang, s. f.)

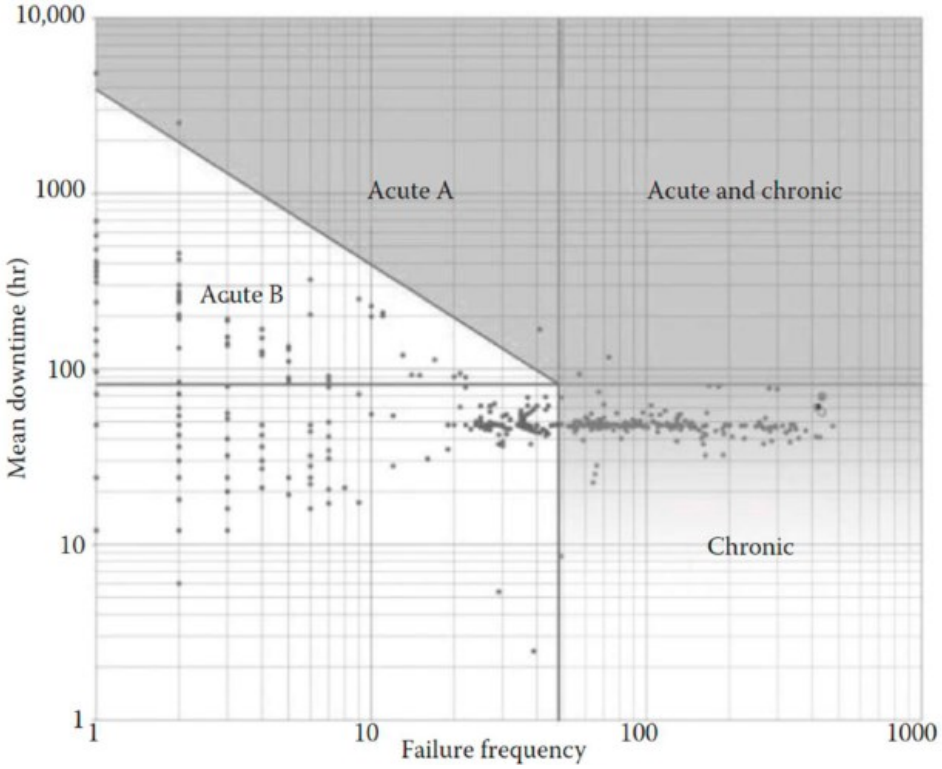


Figura 7 Jack Knife para Artículos que Funcionan a Máxima Disponibilidad.

Fuente: (Jardine &Tsang, 2013)

Por otra parte, en la figura 7 se muestra un caso donde se tienen elementos con alta disponibilidad y alta frecuencia de falla; esto afecta directamente a la confiabilidad de los elementos involucrados, lo que centra el foco de atención sobre tales elementos ya que su estado afecta directamente a la línea de producción. (Jardine &Tsang, 2013)

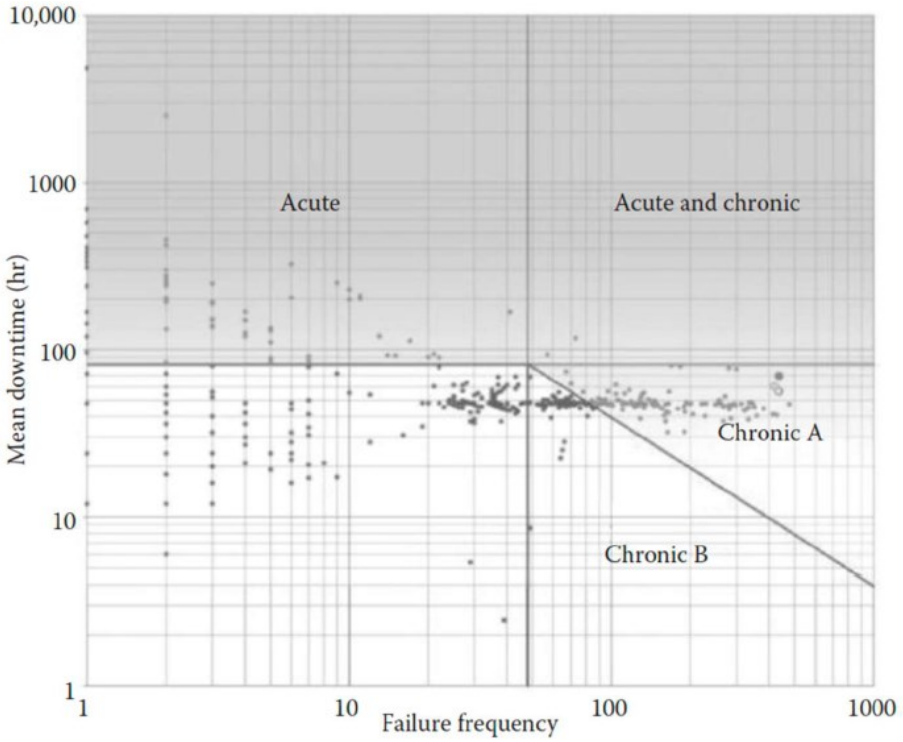


Figura 8 Jack Knife en los que la Minimización de Costos es la Prioridad

Fuente: (Jardine &Tsang, 2013)

En los casos presentados la prioridad es minimizar el TFS y la frecuencia con la que aparecen los fallos, es recomendable analizar las partes por separado siendo el orden:

1. Agudo y crónico,
2. Crónico A,
3. Agudo.

4.3.1 Análisis Jack Knife de Costos

El diagrama Jack Knife solo considera tiempos y frecuencias con lo que no analiza el impacto económico de tener un equipo fuera de servicio. A tal fin, se propone incluir una variable económica y llamada diagrama de dispersión de costo o por sus siglas, DDC. (Viveros et al., 2013)

El diagrama de Jack Knife de costos es un gráfico de dispersión logarítmico, como se muestra en figura 9, donde se grafican puntos basados en 2 parámetros en el eje Y es la Indisponibilidad, el cual multiplica el tiempo fuera de servicio TFS con la frecuencia y X es el costo especifico, para graficar los cuadrantes hay que tener en cuenta que la línea paralela al eje X, es relacionada a la indisponibilidad, y de manera similar la línea paralela al eje Y es la variable económica. Una alternativa práctica para mostrar el diagrama Jack Knife de tiempos, considera calcular el costo general, el cual es la multiplicación de la indisponibilidad con el costo especifico y establecer las 3 líneas que definen los hemisferios usando valores promedios. Una vez identidades los cuadrantes, el diagrama permite identificar fácilmente problemas de indisponibilidad, costo específico y el costo general. (Pascual, 2009)

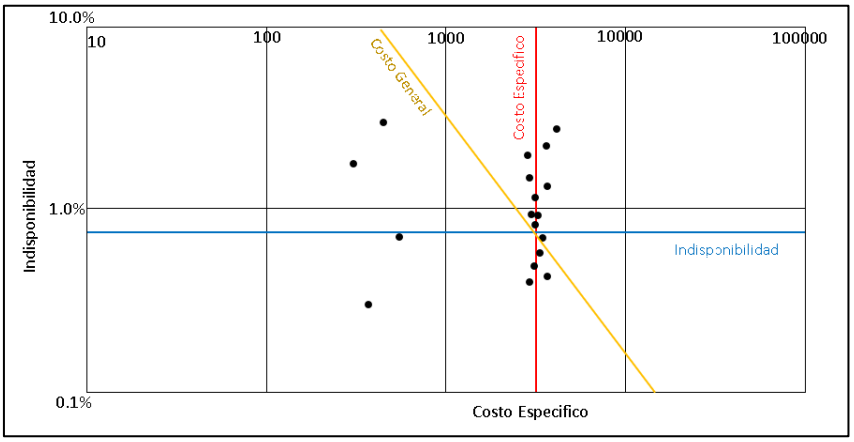


Figura 9 Dispersión de Costos

Fuente: Autores

Cabe denotar que para el mejor entendimiento de la gráfica es posicionar los promedios de los indicadores para así definir cuadrantes seccionados para el mejor entendimiento de la situación de cada elemento, analizando detalladamente la carencia de cada indicador tal como indisponibilidad, costo especifico y costo global que puede presentar algún elemento.

4.4 Mantenibilidad

"La probabilidad de que un equipo sea devuelto a un estado en el que pueda cumplir su misión en un tiempo dado, luego de la aparición de una falla, utilizando procedimientos de mantenimientos preestablecidos" (Parra, 2008). La mantenibilidad se basa en la planificación y la capacitación del personal que realiza el mantenimiento, las herramientas que sean utilizadas y los procesos que sean utilizados para la adecuación de los equipos.

El pilar fundamental para una mantenibilidad es el tiempo medio de reparación de las fallas (MTTR); mientras este factor sea alto en una máquina, la mantenibilidad es lo que debe priorizarse para el rendimiento eficaz de la misma dentro de la producción. Caso contrario, si el MTTR de un equipo es bajo, se deduce que la mantenibilidad se lleva acorde a la necesidad. (Parra, 2008)

4.5 Confiabilidad

Para (Parra, 2008) "La probabilidad de que un equipo cumpla su misión específica (no falle) bajo condiciones de operaciones determinadas en un periodo determinado"se podría definir a la confiabilidad. Esto se resume en una relación directa entre la tase de fallas (cantidad de fallas) y el tiempo medio operativo (MTU) que son factores inherentes para la confiabilidad de un equipo. Es decir, mientras menor sea el número de estos indicadores se obtendrá una confiabilidad alta.

4.6 Análisis de la Confiabilidad.

El parámetro que destaca mayor prioridad dentro del mantenimiento es la confiabilidad que tenga el equipo, lo que se resume en el cumplimiento de sus funciones a lo largo de su vida útil sin interrumpir la línea de producción.

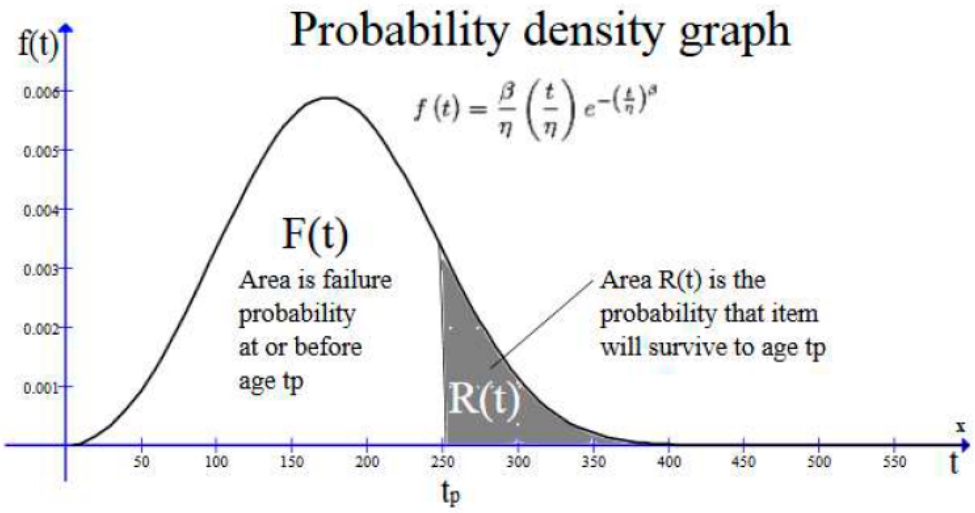


Figura 10 Funciones Densidad de Probabilidad f(t), Probabilidad de Falla F(t) y Confiabilidad R(t)

Fuente: (Living Reliability, s. f.)

4.7 Costo Mano de Obra Total

Este valor hace referencia a la remuneración que recibe el trabajador por el esfuerzo físico o mental que realiza para transformar la materia prima en un producto final.(Rojas, 2007)

$$C_{MOT} = \#_{INTERVENCIONES} * C_{MO} \qquad [1]$$

Donde:

C_{MOT} = Costo de mano de obra total.

$\#_{INTERVENCIONES}$ = Número de intervenciones a lo largo de un año.

C_{MO} = Costo de mano de obra unitario.

4.8 Costo Total

Este valor representa la suma entre el costo de factura que representa el precio del repuesto y costo de mano de obra total.

$$C_{TOTAL} = C_F + C_{MOT} \qquad [2]$$

C_{TOTAL} = Costo de mano de obra total.

C_F = Costo de factura.

C_{MOT} = Costo de mano de obra total.

4.9 Tiempo Total para Reparar (STTR)

El STTR es el tiempo que toma reparar todo un sistema de la máquina a dar mantenimiento.(Pascual, 2009)

$$STTR = \sum TFS \qquad [3]$$

TFS = Tiempo fuera de servicio en horas (a su vez el tiempo fuera de servicio es el tiempo en horas de los números de intervenciones que haya tenido la máquina).

4.10 Método Jack Knife Aplicado a las Fallas

4.10.1 Total de Fallas

Este indicador es el resultado de la sumatoria de todas las intervenciones para solucionar una falla a lo largo de un año laboral.(Pascual, 2009)

$$\sum \#_{INTERVENCIONES} \qquad [4]$$

Donde:

$\#_{INTERVENCIONES}$= Número de intervenciones (En un año).

4.10.2 Tasa de Fallas

$$TF = \frac{1}{T_t/\#_{INTERVENCIONES}} \qquad [5]$$

Donde;

TF = Tasa de falla.

T_t = Tiempo de trabajo de la máquina en un año (horas).

$\#_{INTERVENCIONES}$ = Número de intervenciones (En un año).

4.10.3 MTTR

Se define como el tiempo medio para reparar un equipo o sistema dentro de un tiempo determinado.(Arenas, 2016)

$$MTTR = \frac{STTR}{\#_{INTERVENCIONES}} \qquad [6]$$

Por ende;

$MTTR$ = Mean Time to Repair (tiempo medio de reparación).

$STTR$ = Tiempo total para reparar.

$\#_{INTERVENCIONES}$ = Número de intervenciones (En un año).

4.11 Método Jack Knife Aplicado a los Costos

Para aplicar el método Jack Knife en base a los costos se deben tomar en cuenta las siguientes formulas:

4.11.1 Costo Global Especifico

El costo global especifico determina la relación de costo/tiempo al presentarse una falla en un elemento del equipo, así tenemos que el costo global especifico proporciona una cotización del mantenimiento de la máquina a lo largo de un año laboral.

$$C_{GE} = C_T * \left(\frac{1}{30}\right) * MTTR * \left(\frac{1}{T_t}\right) \qquad [7]$$

Teniendo así;

C_{GE} = Costo Global Especifico.

C_T = Costo Total.

$MTTR$ = Mean Time to Repair (tiempo medio de reparación).

T_t = Tiempo de trabajo de la máquina en un año (horas).

$\frac{1}{30}$ = Transformación de meses.

4.11.2 Indisponibilidad

Según (Parra, 2008) es "La probabilidad de que un equipo se encuentre en condiciones de cumplir su misión en un instante cualquiera" pero únicamente se da bajo condiciones en un ambiente totalmente controlado y sin ningún factor externo que llegase a perturbar el sistema.

$$Indisponibilidad = T_{Fallas} * MTTR \qquad [8]$$

Teniendo así;

T_{Fallas} = Tasa de Fallas.

$MTTR$ = Mean Time to Repair (tiempo medio de reparación).

4.11.3 Costo Global

El costo global se refiere a los márgenes por pérdidas debida a la causa de una falla de un elemento que provoca una baja producción e indisponibilidad del equipo.(Pascual, 2004)

$$C_{GLOBAL} = C_{GE} * Indisponibilidad \qquad [9]$$

Donde;

C_{GLOBAL} = Costo Global.

C_{GE} = Costo Global Especifico.

4.12 Tipos de Máquinas

En el presente documento se detalla todas las máquinas que se van a evaluar con el método de dispersión logarítmica Jack Knife.

4.12.1 Rodillo Ingersoll Rand SD100D

Consiste fundamentalmente en el proceso artificial que se sigue para lograr el aumento en la densidad de un suelo natural o de relleno, a fin de obtener la mayor estabilidad de él. Este proceso se realiza mediante el empleo de equipos mecánicos o manuales (energía) y la adición de agua que fuere necesaria.

4.12.2 Motoniveladora John Deere 670-C

Máquina muy versátil usada para mover tierra u otro material suelto. Su función principal es nivelar, modelar o dar la pendiente necesaria al material en que trabaja. Se considera como una máquina de terminación superficial. Su versatilidad está dada por los diferentes movimientos de la

hoja, como por la serie de accesorios que puede tener. Puede imitar todos los tipos de tractores, pero su diferencia radica en que la motoniveladora es más frágil, ya que no es capaz de aplicar la potencia de movimiento ni la de corte del tractor. Debido a esto es más utilizada en tareas de acabado o trabajos de precisión. Las motoniveladoras pueden ser arrastradas o automotrices, siendo esta última la más utilizada y se denomina motoniveladora.

4.12.3 Retroexcavadora John Deere 410E

La retroexcavadora es una máquina en la cual la pluma baja y sube en cada operación; la cuchara, unida a ella, excava tirando hacia el carretón, en vez de empujar hacia delante, como lo hace la excavadora normal. Es fundamental que el transporte este organizado de manera tal que la excavadora no espere a los medios de transporte; la capacidad de estos debe ser múltiplo de la cuchara, para evitar que una carga tenga que vaciarse en elementos distintos; un buen sistema, siempre que sea posible en la práctica, consiste en situar los camiones alternativamente a un lado y al otro de la excavadora y lo más cerca posible del frente de ataque.

4.12.4 Cargadora Caterpillar 950G

El cargador frontal es un equipo tractor, montado en orugas o en ruedas, que tiene un cucharón de gran tamaño en su extremo frontal. Los cargadores son equipos de carga, acarreo y eventualmente excavación, en el caso de acarreo solo se recomienda realizarlo en distancias cortas. El uso de cargadores da soluciones modernas a un problema de acarreo y carga de materiales, con la finalidad de reducir los costos y aumentar la producción. En el caso de excavaciones con explosivos, la buena movilidad de éste le permite moverse fuera del área de voladura rápidamente y con seguridad; y antes de que el polvo de la explosión se disipe, el cargador puede estar recogiendo la roca regada y preparándose para la entrega del material. Los cucharones del cargador

frontal varían en tamaño, desde 0.19 m3 hasta más de 19.1 m3 de capacidad, colmado. El tamaño del cucharón está estrictamente relacionado con el tamaño de la máquina.

4.12.5 Tractor Caterpillar D7R

Máquina para movimiento de tierra con una gran potencia y robustez en su estructura, diseñado especialmente para el trabajo de corte (excavando) y al mismo tiempo empujando con la hoja (transporte). En esta máquina son montados diversos equipos para poder ejecutar su trabajo, además debido a su gran potencia tiene la posibilidad de empujar o apoyar a otras máquinas cuando estas lo necesiten.

CAPITULO II

Introducción

El procesamiento de los datos recabados se lleva a cabo en el software de programación Visual Basic, que no es sino una ayuda adicional para los arduos cálculos y la concentración de repetidos datos dentro del historial de mantenimiento de la flota de transporte a lo largo del tiempo. Usando lenguaje de programación se diseña la herramienta tecnológica sintetizando todo un proceso dentro de un botón previamente programado para que realice la tarea predicha.

5 Alistamiento de máquinas

En primera instancia se realiza un inventario con la maquinaria existente dentro de la empresa de transporte. Se debe denotar que se trabajó en una lista donde se ubicaban la mayoría de equipos con el historial de mantenimiento desde años anteriores, la efectividad del método Jack Knife aumenta mientras mayor es el tiempo en el cual se recaban datos, siendo el mínimo de este de un año.

Adicionalmente, se recopila información llevando un seguimiento al historial de mantenimiento de cada equipo, haciendo énfasis en los costos de mantenimiento. Dichos costos fueron obtenidos analizando el historial de costos compilados por la unidad contable. Las máquinas que serán analizadas mediante Jack Knife son:

- Rodillo (Ingersoll Rand SD100D, Bomag BW-211 D-3, Bomag BW-211 D-40, Hamm 3520, Hamm 3412)
- Motoniveladora (John Deere 670-C, Mitsubishi MG-430, Komatsu GD-555-11280, Komatsu GD-555-3A, Komatsu GD-675)

- Retroexcavadora (John Deere 410 E, Caterpillar 446 B, Komatsu W90, Komatsu WB-1465)
- Cargadora (Caterpillar 950-F, Caterpillar 950G, Komatsu WA230-5, Komatsu W90-2)
- Tractor (Caterpillar D7G, Komatsu D-155-A, Komatsu D85A-18, Caterpillar D7H, Caterpillar D7R, Caterpillar D6R, Komatsu D65EC, Komatsu D85A-12)

5.1 Recolección de Datos

Para la recopilación de datos se procedió a revisar el histórico de fallas de la flota de trasporte a evaluar y se clasifico de la siguiente manera:

5.1.1 Clasificación de equipos

Una vez conocidos todos los equipos sobre los cuales se trabajará, se procede a clasificarlos para preparar los cimientos de lo que será la base de datos en la cual se aplicará el método de dispersión logarítmica y proponiendo los datos que serán necesarios para realizar el cálculo referente al método Jack Knife.

5.2 Aplicación del Método Jack Knife en Rodillo Ingersoll Rand SD-100D B

El equipo tiene seguimiento de su mantenimiento desde el año de su adquisición, ya clasificados todos sus sistemas y subsistemas; así mismo como los costos de todas las actividades realizadas durante el mantenimiento. Es importante tener una constancia de las horas que ha trabajado la máquina a lo largo del año.

5.2.1 Cálculo de Fallas

Para el cálculo de fallas se debe tomar en cuenta los siguientes ítems:

5.2.1.1 Total de Fallas

Para calcular el total de fallas se realiza una sumatoria del número de intervenciones que ha tenido la máquina, ya que refieren al número de fallas que ha tenido la máquina en cada sistema. Su forma de cálculo es la siguiente:

$$\sum \#_{INTERVENCIONES} \qquad [4]$$

Donde:

$\#_{INTERVENCIONES}$= Número de intervenciones (En un año).

MÀQUINA	SISTEMA	ACTIVIDAD	NÚMERO DE VECES QUE HA FALLADO LA MÁQUINA
RODILLO 14 INGERSOLL RAND SD-100D B AÑO: 1999	MOTOR	CAMBIO DE FILTRO DE COMBUSTIBLE	7
		CAMBIO DE FILTRO RACOR	7
		CAMBIO DE FILTROS DE AIRE P/S	2
		REVISIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN	1
		ARREGLO FUGA DE COMBUSTIBLE	1
		CAMBIO DE BANDA DE VENTILADOR	1
		CAMBIO DE ACEITE DE MOTOR	7
		CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE MOTOR	7
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE MOTOR	1
		CAMBIO DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	1
		AJUSTE DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	1
		REVISIÓN DEL SISTEMA DE ENCENDIDO	1
		REVISIÓN DEL MOTOR	7
		CALIBRACIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISIÓN Y ESCAPE	1
		CAMBIO DE BASES DEL MOTOR	1
	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	1
		CAMBIO DE ACEITE DEL DIFERENCIAL	1
		CAMBIO DE ACEITE DE MANDOS FINALES	1
		CAMBIO DE ACEITE DE LA MASA	1
		CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	1
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	1
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DEL DIFERENCIAL	1
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE MANDOS FINALES	1
		AJUSTE DE ACEITE DE LA MASA	1
		CAMBIO DE CRUCETAS DEL CARDÁN	1
		REPARACIÓN DE NEUMÁTICO	4
		CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE DEL ORBITROL	1
	DIRECCIÓN	CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE DEL GATO HIDRÁULICO DE LA DIRECCIÓN	1
	ELÉCTRICO	REVISIÓN SISTEMA ELÉCTRICO	2
		REVISIÓN DE LUCES	1
		CAMBIO DE FOCOS	2
		AJUSTE DE NIVEL DE ELECTROLITO EN LA BATERÍA	1
		CAMBIO DE FUSIBLES	2
		CAMBIO DE CARBONES DE ALTERNADOR	1
	HIDRÁULICO	CAMBIO DE ACEITE HIDRÁULICO	1
		CAMBIO DE FILTRO HIDRÁULICO	1
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE HIDRÁULICO	4
		REVISIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	5
		CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	4
		CAMBIO DE KIT DE SELLOS DE GATOS HIDRÁULICOS	1
		CAMBIO DE MANGUERA HIDRÁULICA	4
	CHASIS Y CARROCERIA	SUELDAS VARIAS	1
		EXTRACCIÓN DE PERNOS ROTOS	1
		REPARACIÓN DE LA MASA	1
		CAMBIO DE GRASEROS	4
		ENGRASADO DEL EQUIPO	48
		USO DE WIPE	12

Figura 11 Calculo de Total de Fallas del Rodillo.

Fuente: Autores

5.2.1.1.1 Total de Fallas “Motor”

$$\sum \#_{INTERVENCIONES} = 46$$

5.2.1.1.2 Total de Fallas “Transmisión”

$$\sum \#_{INTERVENCIONES} = 14$$

5.2.1.1.3 Total de Fallas “Dirección”

$$\sum \#_{INTERVENCIONES} = 2$$

5.2.1.1.4 Total de Fallas “Eléctrico”

$$\sum \#_{INTERVENCIONES} = 9$$

5.2.1.1.5 Total de Fallas “Hidráulico”

$$\sum \#_{INTERVENCIONES} = 20$$

5.2.1.1.6 Total de Fallas “Chasis y Carrocería”

$$\sum \#_{INTERVENCIONES} = 67$$

5.2.1.2 Tasa de Fallas

Es la frecuencia con la que se presenta la falla por hora. El cálculo dentro de los sistemas del equipo es el siguiente:

$$TF = \frac{1}{T_E/\#_{INT.}} \qquad [5]$$

Teniendo así;

TF = Tasa de falla.

T_t = Tiempo de trabajo de la máquina en un año (horas).

$\#_{INTERVENCIONES}$ = Número de intervenciones (En un año).

T (hr) por equipo	2680

MÀQUINA	SISTEMA	ACTIVIDAD	NÚMERO DE VECES QUE HA FALLADO LA MÁQUINA (Número de intervensiones)
RODILLO 14 INGERSOLL RAND SD-100D B AÑO: 1999	MOTOR	CAMBIO DE FILTRO DE COMBUSTIBLE	7
		CAMBIO DE FILTRO RACOR	7
		CAMBIO DE FILTROS DE AIRE P/S	2
		REVISIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN	1
		ARREGLO FUGA DE COMBUSTIBLE	1
		CAMBIO DE BANDA DE VENTILADOR	1
		CAMBIO DE ACEITE DE MOTOR	7
		CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE MOTOR	7
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE MOTOR	1
		CAMBIO DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	1
		AJUSTE DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	1
		REVISIÓN DEL SISTEMA DE ENCENDIDO	1
		REVISIÓN DEL MOTOR	7
		CALIBRACIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISIÓN Y ESCAPE	1
		CAMBIO DE BASES DEL MOTOR	1
	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	1
		CAMBIO DE ACEITE DEL DIFERENCIAL	1
		CAMBIO DE ACEITE DE MANDOS FINALES	1
		CAMBIO DE ACEITE DE LA MASA	1
		CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	1
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	1
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DEL DIFERENCIAL	1
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE MANDOS FINALES	1
		AJUSTE DE ACEITE DE LA MASA	1
		CAMBIO DE CRUCETAS DEL CARDÁN	1
		REPARACIÓN DE NEUMÁTICO	4
		CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE DEL ORBITROL	1
	DIRECCIÓN	CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE DEL GATO HIDRÁULICO DE LA DIRECCIÓN	1
	ELÉCTRICO	REVISIÓN SISTEMA ELÉCTRICO	2
		REVISIÓN DE LUCES	1
		CAMBIO DE FOCOS	2
		AJUSTE DE NIVEL DE ELECTROLITO EN LA BATERÍA	1
		CAMBIO DE FUSIBLES	2
		CAMBIO DE CARBONES DE ALTERNADOR	1
	HIDRÁULICO	CAMBIO DE ACEITE HIDRÁULICO	1
		CAMBIO DE FILTRO HIDRÁULICO	1
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE HIDRÁULICO	4
		REVISIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	5
		CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	4
		CAMBIO DE KIT DE SELLOS DE GATOS HIDRÁULICOS	1
		CAMBIO DE MANGUERA HIDRÁULICA	4
	CHASIS Y CARROCERIA	SUELDAS VARIAS	1
		EXTRACCIÓN DE PERNOS ROTOS	1
		REPARACIÓN DE LA MASA	1
		CAMBIO DE GRASEROS	4
		ENGRASADO DEL EQUIPO	48
		USO DE WIPE	12

Figura 12 Cálculo de la tasa de fallas de las actividades

Fuente: Autores.

5.2.1.2.1 Tasa de Falla "Motor"

Tabla 2 Resultado para el cálculo de tasa de falla del sistema de motor

Número de Veces que ha Fallado la Máquina (Número de intervenciones)	Hora de trabajo en un año del equipo (h)	Fórmula	Resultado
7	2680	$TF = \frac{1}{T_E/\#_{INT.}}$	0,002612
7			0.002612
2			0,000746
1			0,000373
1			0,000373
1			0,000373
7			0,002612
7			0,002612
1			0,000373
1			0,000373
1			0,000373
1			0,000373
7			0,002612
1			0,000373
1			0,000373

5.2.1.2.2 Tasa de Falla “Transmisión”

Tabla 3 Resultado para el cálculo de tasa de falla del sistema de transmisión

Número de Veces que ha Fallado la Máquina (Número de intervenciones)	**Hora de trabajo en un año del equipo (h)**	**Fórmula**	**Resultado**
1	2680	$TF = \frac{1}{T_E/\#_{INT.}}$	0,000373
1			0,000373
1			0,000373
1			0,000373
1			0,000373
1			0,000373
1			0,000373
1			0,000373
1			0,000373
1			0,000373
4			0,001493

5.2.1.2.3 Tasa de Falla "Dirección"

Tabla 4 Resultado para el cálculo de tasa de falla del sistema de dirección

Número de Veces que ha Fallado la Máquina (Número de intervenciones)	Hora de trabajo en un año del equipo (h)	Fórmula	Resultado
1	2680	$TF = \frac{1}{T_E/\#_{INT.}}$	0,000373
1			0,000373

5.2.1.2.4 Tasa de Falla "Eléctrico"

Tabla 5 Resultado para el cálculo de tasa de falla del sistema eléctrico

Número de Veces que ha Fallado la Máquina (Número de intervenciones)	Hora de trabajo en un año del equipo (h)	Fórmula	Resultado
2	2680	$TF = \frac{1}{T_E/\#_{INT.}}$	0,000746
1			0,000373
2			0,000746
1			0,000373
2			0,000746
1			0,000373

5.2.1.2.5 Tasa de Falla "Hidráulico"

Tabla 6 Resultado para el cálculo de tasa de falla del sistema hidráulico

Número de Veces que ha Fallado la Máquina (Número de intervenciones)	Hora de trabajo en un año del equipo (h)	Fórmula	Resultado
1	2680	$TF = \frac{1}{T_E/\#_{INT.}}$	0,000373
1			0,000373
4			0,001493
5			0,001866
4			0,001493
1			0,000373
4			0,001493

5.2.1.2.6 Tasa de Falla "Chasis y Carrocería"

Tabla 7 Resultado para el cálculo de tasa de falla del sistema de chasis y carrocería

Número de Veces que ha Fallado la Máquina (Número de intervenciones)	Hora de trabajo del equipo (h)	Fórmula	Resultado
1	2680	$TF = \frac{1}{T_E/\#_{INT.}}$	0,000373
1			0,000373
1			0,000373
4			0,001493
48			0,017910
12			0,004478

5.2.1.3 MTTR

MÁQUINA	SISTEMA	ACTIVIDAD	NÚMERO DE VECES QUE HA FALLADO LA MÁQUINA	TIEMPO FUERA DE SERVICIO (h)	STTR (Tiempo totales para reparar) (hr)	MTTR
RODILLO 14 INGERSOLL RAND SD-100D B AÑO: 1999	MOTOR	CAMBIO DE FILTRO DE COMBUSTIBLE	7	0,16	1,65	0,2357
		CAMBIO DE FILTRO RACOR	7	0,08		0,2357
		CAMBIO DE FILTROS DE AIRE P/S	2	0,08		0,825
		REVISIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN	1	0,33		1,65
		ARREGLO FUGA DE COMBUSTIBLE	1	1		1,65
		CAMBIO DE BANDA DE VENTILADOR	1	0,5	0,5	0,5
		CAMBIO DE ACEITE DE MOTOR	7	0,5	0,66	0,0943
		CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE MOTOR	7	0,08		0,0943
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE MOTOR	1	0,08		0,66
		CAMBIO DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	1	0,33	0,58	0,58
		AJUSTE DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	1	0,25		0,58
		REVISIÓN DEL SISTEMA DE ENCENDIDO	1	0,33	0,33	0,33
		REVISIÓN DEL MOTOR	7	0,33	3,33	0,475714286
		CALIBRACIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISIÓN Y ESCAPE	1	1		3,33
		CAMBIO DE BASES DEL MOTOR	1	2		3,33
	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	1	0,5	3,05	3,05
		CAMBIO DE ACEITE DEL DIFERENCIAL	1	0,16		3,05
		CAMBIO DE ACEITE DE MANDOS FINALES	1	0,16		3,05
		CAMBIO DE ACEITE DE LA MASA	1	0,33		3,05
		CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	1	0,08		3,05
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	1	0,16		3,05
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DEL DIFERENCIAL	1	0,08		3,05
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE MANDOS FINALES	1	0,08		3,05
		AJUSTE DE ACEITE DE LA MASA	1	0,5		3,05
		CAMBIO DE CRUCETAS DEL CARDÁN	1	0,5		3,05
		REPARACIÓN DE NEUMÁTICO	4	0,5		0,7625
	DIRECCIÓN	CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE DEL ORBITROL	1	1,5	3	3
		CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE DEL GATO HIDRÁULICO DE LA DIRECCIÓN	1	1,5		3
	ELÉCTRICO	REVISIÓN SISTEMA ELÉCTRICO	2	1	2,56	1,28
		REVISIÓN DE LUCES	1	0,16		2,56
		CAMBIO DE FOCOS	2	0,16		1,28
		AJUSTE DE NIVEL DE ELECTROLITO EN LA BATERÍA	1	0,08		2,56
		CAMBIO DE FUSIBLES	2	0,16		1,28
		CAMBIO DE CARBONES DE ALTERNADOR	1	1		2,56
	HIDRÁULICO	CAMBIO DE ACEITE HIDRÁULICO	1	1	5,9	5,9
		CAMBIO DE FILTRO HIDRÁULICO	1	0,08		5,9
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE HIDRÁULICO	4	0,16		1,475
		REVISIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	5	0,16		1,18
		CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	4	1,5		1,475
		CAMBIO DE KIT DE SELLOS DE GATOS HIDRÁULICOS	1	1		5,9
		CAMBIO DE MANGUERA HIDRÁULICA	4	2		1,475
	CHASIS Y CARROCERIA	SUELDAS VARIAS	1	8	18,68	18,68
		EXTRACCIÓN DE PERNOS ROTOS	1	2		18,68
		REPARACIÓN DE LA MASA	1	8		18,68
		CAMBIO DE GRASEROS	4	0,16		4,67
		ENGRASADO DEL EQUIPO	48	0,5		0,389166667
		USO DE WIPE	12	0,02		1,556666667

Figura 13 Cálculo del MTTR de las actividades de falla de cada sistema

Fuente: Autores

$$MTTR = STTR/\#_{INT} \qquad [6]$$

$MTTR =$ Mean Time to Repair (tiempo medio de reparación).

$STTR =$ Tiempo total para reparar (h)

$$STTR = \sum TFS \qquad [3]$$

$TFS =$ Tiempo fuera de servicio en horas (a su vez el tiempo fuera de servicio es el tiempo en horas de los números de intervenciones que haya tenido la máquina).

$\#_{INT} =$ Número de intervenciones.

5.2.1.4 MTTR "Motor"

Tabla 3 Resultado del cálculo del MTTR del sistema del motor

Número de Veces que ha Fallado la Máquina (Número de intervenciones)	Tiempo Fuera de Servicio (h) [TFS]	STTR (Tiempo totales para reparar) [h]	Fórmula	Resultado
7	0,16	7,05	$MTTR = STTR/\#_{INT}$	1,0071
7	0,08			1,0071
2	0,08			3,525
1	0,33			7,05
1	1			7,05
1	0,5			0
7	0,5			0
7	0,08			0
1	0,08			0
1	0,33			0
1	0,25			0
1	0,33			0
7	0,33			0
1	1			0
1	2			0

5.2.1.5 MTTR "Transmisión"

Tabla 4 Resultado del cálculo del MTTR del sistema de transmisión

Número de Veces que ha Fallado la Máquina (Número de intervenciones)	Tiempo Fuera de Servicio (h) [TFS]	STTR (Tiempo totales para reparar) [h]	Fórmula	Resultado
1	0,5	3,05	$MTTR = STTR/\#_{INT}$	3,05
1	0,16			3,05
1	0,16			3,05
1	0,33			3,05
1	0,08			3,05
1	0,16			3,05
1	0,08			3,05
1	0,08			3,05
1	0,5			3,05
1	0,5			3,05
4	0,5			0,7625

5.2.1.6 MTTR "Dirección"

Tabla 5 Resultado del cálculo del MTTR del sistema de la dirección

Número de Veces que ha Fallado la Máquina (Número de intervenciones)	Tiempo Fuera de Servicio (h) [TFS]	STTR (Tiempo totales para reparar) [h]	Fórmula	Resultado
1	1,5	3	$MTTR = STTR/\#_{INT}$	3
1	1,5			3

5.2.1.7 MTTR "Eléctrico"

Tabla 6 Resultado del cálculo del MTTR del sistema eléctrico

Número de Veces que ha Fallado la Máquina (Número de intervenciones)	Tiempo Fuera de Servicio (h) [TFS]	STTR (Tiempo totales para reparar) [h]	Fórmula	Resultado
2	1	2,56	$MTTR = STTR/\#_{INT}$	1,28
1	0,16			2,56
2	0,16			1,28
1	0,08			2,56
2	0,16			1,28
1	1			2,56

5.2.1.8 MTTR "Hidráulico"

Tabla 7 Resultado del cálculo del MTTR del sistema hidráulico

Número de Veces que ha Fallado la Máquina (Número de intervenciones)	Tiempo Fuera de Servicio (h) [TFS]	STTR (Tiempo totales para reparar) [h]	Fórmula	Resultado
1	1	5,9	$MTTR = STTR/\#_{INT}$	5,9
1	0,08			5,9
4	0,16			1,475
5	0,16			1,18
4	1,5			1,475
1	1			5,9
4	2			1,475

5.2.1.9 MTTR "Chasis y Carrocería"

Tabla 8 Resultado del cálculo del MTTR del sistema de chasis y carrocería

Número de Veces que ha Fallado la Máquina (Número de intervenciones)	Tiempo Fuera de Servicio (h) [TFS]	STTR (Tiempo totales para reparar) [h]	Fórmula	Resultado
1	8	18,68	$MTTR = STTR/\#_{INT}$	18,68
1	2			18,68
1	8			18,68
4	0,16			4,67
48	0,5			0,3891667
12	0,02			1,5566667

5.2.2 Cálculo de Costos

Para el gráfico de costos se deben tomar en cuenta los siguientes indicadores:

5.2.2.1 Costo Global Especifico

Este indicador es el resultado del producto del costo que involucra tanto al coste del repuesto como al coste de la mano de obra, es decir, el costo total, adicionando el tiempo medio que tomará solucionar el fallo; relacionando a esto el tiempo de trabajo de la máquina en un año(horas).

$$C_{GE} = C_{TOTAL} * \left(\frac{1}{30}\right) * MTTR\left(\frac{1}{T_{TRABAJO}}\right) \qquad [7]$$

Donde se deduce que:

C_{GE} = Costo Global Especifico.

C_{TOTAL} = Costo Total.

$MTTR$ = Mean Time to Repair (tiempo medio de reparación).

$T_{TRABAJO}$ = Tiempo de trabajo de la máquina en un año en horas.

$\frac{1}{30}$ = Transformación de meses.

T (hr) por equipo	2680

MÀQUINA	SISTEMA	ACTIVIDAD	NÚMERO DE VECES QUE HA FALLADO LA MÁQUINA	COSTO TOTAL	MTTR	Cge
RODILLO 14 INGERSOLL RAND SD-100D B AÑO: 1999	MOTOR	CAMBIO DE FILTRO DE COMBUSTIBLE	7	156	1,007142857	0,00195416
		CAMBIO DE FILTRO RACOR	7	103,66	1,007142857	0,00129851
		CAMBIO DE FILTROS DE AIRE P/S	2	138,79	3,525	0,00608501
		REVISIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN	1	42,016	7,05	0,00368424
		ARREGLO FUGA DE COMBUSTIBLE	1	80	7,05	0,00701493
		CAMBIO DE BANDA DE VENTILADOR	1	60,41	0	0
		CAMBIO DE ACEITE DE MOTOR	7	497,15	0	0
		CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE MOTOR	7	131,17	0	0
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE MOTOR	1	28,86	0	0
		CAMBIO DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	1	171,49	0	0
		AJUSTE DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	1	15,86	0	0
		REVISIÓN DEL SISTEMA DE ENCENDIDO	1	32,016	0	0
		REVISIÓN DEL MOTOR	7	290	0	0
		CALIBRACIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISIÓN Y ESCAPE	1	151,6	0	0
		CAMBIO DE BASES DEL MOTOR	1	360	0	0
	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	1	181,85	3,05	0,00689854
		CAMBIO DE ACEITE DEL DIFERENCIAL	1	110,88	3,05	0,00420627
		CAMBIO DE ACEITE DE MANDOS FINALES	1	54,18	3,05	0,00205534
		CAMBIO DE ACEITE DE LA MASA	1	1039,41	3,05	0,03943035
		CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	1	41,82	3,05	0,00158646
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	1	30,26	3,05	0,00114792
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DEL DIFERENCIAL	1	24,17	3,05	0,0009169
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE MANDOS FINALES	1	17,09	3,05	0,00064831
		AJUSTE DE ACEITE DE LA MASA	1	115,2	3,05	0,00437015
		CAMBIO DE CRUCETAS DEL CARDÁN	1	210	3,05	0,00796642
		REPARACIÓN DE NEUMÁTICO	4	62,5	0,7625	0,00059274
		CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE DEL ORBITROL	1	60	3	0,00223881
	DIRECCIÓN	CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE DEL GATO HIDRÁULICO DE LA DIRECCIÓN	1	110	3	0,00410448
	ELÉCTRICO	REVISIÓN SISTEMA ELÉCTRICO	2	95,13	1,28	0,00151451
		REVISIÓN DE LUCES	1	50	2,56	0,00159204
		CAMBIO DE FOCOS	2	40	1,28	0,00063682
		AJUSTE DE NIVEL DE ELECTROLITO EN LA BATERÍA	1	13,42	2,56	0,0004273
		CAMBIO DE FUSIBLES	2	22	1,28	0,00035025
		CAMBIO DE CARBONES DE ALTERNADOR	1	63,18	2,56	0,0020117
	HIDRÁULICO	CAMBIO DE ACEITE HIDRÁULICO	1	1275,1	5,9	0,09357077
		CAMBIO DE FILTRO HIDRÁULICO	1	57,87	5,9	0,00424668
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE HIDRÁULICO	4	279,29	1,475	0,00512379
		REVISIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	5	202,016	1,18	0,00296491
		CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	4	400	1,475	0,00733831
		CAMBIO DE KIT DE SELLOS DE GATOS HIDRÁULICOS	1	230	5,9	0,01687811
		CAMBIO DE MANGUERA HIDRÁULICA	4	300,27	1,475	0,00550868
	CHASIS Y CARROCERIA	SUELDAS VARIAS	1	94,53	18,68	0,02196294
		EXTRACCIÓN DE PERNOS ROTOS	1	94,53	18,68	0,02196294
		REPARACIÓN DE LA MASA	1	664,28	18,68	0,15433769
		CAMBIO DE GRASEROS	4	87,11	4,67	0,00505975
		ENGRASADO DEL EQUIPO	48	831,01	0,389166667	0,00402241
		USO DE WIPE	12	24,19	1,556666667	0,00046836

Figura 14 Cálculo del Costo Global Especifico

Fuente: Autores

5.2.2.1.1 Costo Global Especifico "Motor"

Tabla 9 Cálculo del costo global especifico del sistema del motor

Costo Total	MTTR	Hora de trabajo en un año del equipo (h)	Fórmula	Resultado
$ 156,00	1,0071	2680	$C_{GE} = C_{TOTAL} * \left(\frac{1}{30}\right) * MTTR \left(\frac{1}{T_{TRABAJO}}\right)$	0,001954
$ 103,66	1,0071			0,001299
$ 138,79	3,525			0,006085
$ 42,02	7,05			0,003684
$ 80,00	7,05			0,007015
$ 60,41	0			0
$ 497,15	0			0
$ 131,17	0			0
$ 28,86	0			0
$ 171,49	0			0
$ 15,86	0			0
$ 32,02	0			0
$ 290,00	0			0
$ 151,60	0			0
$ 360,00	0			0

5.2.2.1.2 Costo Global Especifico "Transmisión"

Tabla 10 Cálculo del costo global especifico del sistema de transmisión

Costo Total	MTTR	Hora de trabajo en un año del equipo (h)	Fórmula	Resultado
$ 181,85	3,05	2680	$C_{GE} = C_{TOTAL} * \left(\frac{1}{30}\right) * MTTR \left(\frac{1}{T_{TRABAJO}}\right)$	0,006899
$ 110,88	3,05			0,004206
$ 54,18	3,05			0,002055
$ 1039,41	3,05			0,039430
$ 41,82	3,05			0,001586
$ 30,26	3,05			0,001148
$ 24,17	3,05			0,000917
$ 17,09	3,05			0,000648
$ 115,20	3,05			0,004370
$ 210,00	3,05			0,007966
$ 62,50	0,7625			0,000593

5.2.2.1.3 Costo Global Especifico "Dirección"

Tabla 11 Cálculo del costo global especifico del sistema de dirección

Costo Total	MTTR	Hora de trabajo en un año del equipo (h)	Fórmula	Resultado
$ 60,00	3	2680	$C_{GE} = C_{TOTAL} * \left(\frac{1}{30}\right) * MTTR \left(\frac{1}{T_{TRABAJO}}\right)$	0,002239
$ 110,00	3			0,004104

5.2.2.1.4 Costo Global Especifico "Eléctrico"

Tabla 12 Cálculo del costo global especifico del sistema de eléctrico

Costo Total	MTTR	Hora de trabajo en un año del equipo (h)	Fórmula	Resultado
$ 95,13	1,28	2680	$C_{GE} = C_{TOTAL} * \left(\frac{1}{30}\right) * MTTR \left(\frac{1}{T_{TRABAJO}}\right)$	0,001515
$ 50,00	2,56			0,001592
$ 40,00	1,28			0,000637
$ 13,42	2,56			0,000427
$ 22,00	1,28			0,000350
$ 63,18	2,56			0,002012

5.2.2.1.5 Costo Global Especifico "Hidráulico"

Tabla 13 Cálculo del costo global especifico del sistema hidráulico

Costo Total	MTTR	Hora de trabajo en un año del equipo (h)	Fórmula	Resultado
$ 1275,10	5,9	2680	$C_{GE} = C_{TOTAL} * \left(\frac{1}{30}\right) * MTTR \left(\frac{1}{T_{TRABAJO}}\right)$	0,093571
$ 57,87	5,9			0,004247
$ 279,29	1,475			0,005124
$ 202,02	1,18			0,002965
$ 400,00	1,475			0,007338
$ 230,00	5,9			0,016878
$ 300,00	1,475			0,005509

5.2.2.1.6 Costo Global Especifico "Chasis y Carrocería"

Tabla 14 Cálculo del costo global especifico del sistema de chasis y carrocería

Costo Total	MTTR	Hora de trabajo en un año del equipo (h)	Fórmula	Resultado
$ 94,53	18,68	2680	$C_{GE} = C_{TOTAL} * \left(\frac{1}{30}\right) * MTTR \left(\frac{1}{T_{TRABAJO}}\right)$	0,021963
$ 94,53	18,68			0,021963
$ 664,28	18,68			0,154338
$ 87,11	4,67			0,005060
$ 831,01	0,38916667			0,004022
$ 24,19	1,556666667			0,000468

5.2.2.2 Indisponibilidad

La indisponibilidad es el uno de los principales factores a la hora del mantenimiento, ya que este afecta directamente a la línea de producción. Este indicador se lo asocia a la probabilidad de que una máquina falle fuera del periodo de tiempo establecido dentro del mantenimiento. Su forma de calcular es la siguiente:

$$Indisponibilidad = T_{Fallas} * MTTR \qquad [8]$$

Donde:

T_{Fallas} = Tasa de falla.

$MTTR =$ Mean Time to Repair (tiempo medio de reparación).

MÀQUINA	SISTEMA	ACTIVIDAD	Tasas de Falla	MTTR	Indisponibilidad
RODILLO 14 INGERSOLL RAND SD-100D B AÑO: 1999	MOTOR	CAMBIO DE FILTRO DE COMBUSTIBLE	0,00261194	1,00714286	0,002630597
		CAMBIO DE FILTRO RACOR	0,00261194	1,00714286	0,002630597
		CAMBIO DE FILTROS DE AIRE P/S	0,000746269	3,525	0,002630597
		REVISIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN	0,000373134	7,05	0,002630597
		ARREGLO FUGA DE COMBUSTIBLE	0,000373134	7,05	0,002630597
		CAMBIO DE BANDA DE VENTILADOR	0,000373134	0	0
		CAMBIO DE ACEITE DE MOTOR	0,00261194	0	0
		CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE MOTOR	0,00261194	0	0
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE MOTOR	0,000373134	0	0
		CAMBIO DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	0,000373134	0	0
		AJUSTE DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	0,000373134	0	0
		REVISIÓN DEL SISTEMA DE ENCENDIDO	0,000373134	0	0
		REVISIÓN DEL MOTOR	0,00261194	0	0
		CALIBRACIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISIÓN Y ESCAPE	0,000373134	0	0
		CAMBIO DE BASES DEL MOTOR	0,000373134	0	0
	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	0,000373134	3,05	0,00113806
		CAMBIO DE ACEITE DEL DIFERENCIAL	0,000373134	3,05	0,00113806
		CAMBIO DE ACEITE DE MANDOS FINALES	0,000373134	3,05	0,00113806
		CAMBIO DE ACEITE DE LA MASA	0,000373134	3,05	0,00113806
		CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	0,000373134	3,05	0,00113806
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	0,000373134	3,05	0,00113806
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DEL DIFERENCIAL	0,000373134	3,05	0,00113806
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE MANDOS FINALES	0,000373134	3,05	0,00113806
		AJUSTE DE ACEITE DE LA MASA	0,000373134	3,05	0,00113806
		CAMBIO DE CRUCETAS DEL CARDÁN	0,000373134	3,05	0,00113806
		REPARACIÓN DE NEUMÁTICO	0,001492537	0,7625	0,00113806
		CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE DEL ORBITROL	0,000373134	3	0,001119403
	DIRECCIÓN	CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE DEL GATO HIDRÁULICO DE LA DIRECCIÓN	0,000373134	3	0,001119403
	ELÉCTRICO	REVISIÓN SISTEMA ELÉCTRICO	0,000746269	1,28	0,000955224
		REVISIÓN DE LUCES	0,000373134	2,56	0,000955224
		CAMBIO DE FOCOS	0,000746269	1,28	0,000955224
		AJUSTE DE NIVEL DE ELECTROLITO EN LA BATERÍA	0,000373134	2,56	0,000955224
		CAMBIO DE FUSIBLES	0,000746269	1,28	0,000955224
		CAMBIO DE CARBONES DE ALTERNADOR	0,000373134	2,56	0,000955224
	HIDRÁULICO	CAMBIO DE ACEITE HIDRÁULICO	0,000373134	5,9	0,002201493
		CAMBIO DE FILTRO HIDRÁULICO	0,000373134	5,9	0,002201493
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE HIDRÁULICO	0,001492537	1,475	0,002201493
		REVISIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	0,001865672	1,18	0,002201493
		CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	0,001492537	1,475	0,002201493
		CAMBIO DE KIT DE SELLOS DE GATOS HIDRÁULICOS	0,000373134	5,9	0,002201493
		CAMBIO DE MANGUERA HIDRÁULICA	0,001492537	1,475	0,002201493
	CHASIS Y CARROCERIA	SUELDAS VARIAS	0,000373134	18,68	0,006970149
		EXTRACCIÓN DE PERNOS ROTOS	0,000373134	18,68	0,006970149
		REPARACIÓN DE LA MASA	0,000373134	18,68	0,006970149
		CAMBIO DE GRASEROS	0,001492537	4,67	0,006970149
		ENGRASADO DEL EQUIPO	0,017910448	0,38916667	0,006970149
		USO DE WIPE	0,004477612	1,55666667	0,006970149

Figura 15 Cálculo de la indisponibilidad

Fuente: Autores

5.2.2.2.1 Indisponibilidad "Motor"

Tabla 15 Cálculo de indisponibilidad del sistema motor

Tasa de Fallas	MTTR	Fórmula	Resultado
0,002612	1,0071	$Indisponibilidad = T_{Fallas} * MTTR$	0,002631
0,002612	1,0071		0,002631
0,000746	3,525		0,002631
0,000373	7,05		0,002631
0,000373	7,05		0,002631
0,000373	0		0
0,002612	0		0
0,002612	0		0
0,000373	0		0
0,000373	0		0
0,000373	0		0
0,000373	0		0
0,002612	0		0
0,000373	0		0
0,000373	0		0

5.2.2.2.2 Indisponibilidad “Transmisión”

Tabla 16 Cálculo de indisponibilidad del sistema de transmisión

Tasa de Fallas	MTTR	Fórmula	Resultado
0,000373	3,05	$Indisponibilidad = T_{Fallas} * MTTR$	0,001138
0,000373	3,05		0,001138
0,000373	3,05		0,001138
0,000373	3,05		0,001138
0,000373	3,05		0,001138
0,000373	3,05		0,001138
0,000373	3,05		0,001138
0,000373	3,05		0,001138
0,000373	3,05		0,001138
0,000373	3,05		0,001138
0,001493	0,7625		0,001138

5.2.2.2.3 Indisponibilidad “Dirección”

Tabla 17 Cálculo de indisponibilidad del sistema de dirección

Tasa de Fallas	MTTR	Fórmula	Resultado
0,000373	3	$Indisponibilidad = T_{Fallas} * MTTR$	0,001119
0,000373	3		0,001119

5.2.2.2.4 Indisponibilidad “Eléctrico”

Tabla 18 Cálculo de indisponibilidad del sistema eléctrico

Tasa de Fallas	MTTR	Fórmula	Resultado
0,000746	1,28	$Indisponibilidad = T_{Fallas} * MTTR$	0,000955
0,000373	2,56		0,000955
0,000746	1,28		0,000955
0,000373	2,56		0,000955
0,000746	1,28		0,000955
0,000373	2,56		0,000955

5.2.2.2.5 Indisponibilidad “Hidráulico”

Tabla 19 Cálculo de indisponibilidad del sistema hidráulico

Tasa de Fallas	MTTR	Fórmula	Resultado
0,000373	5,9	$Indisponibilidad = T_{Fallas} * MTTR$	0,002201
0,000373	5,9		0,002201
0,001493	1,475		0,002201
0,001866	1,18		0,002201
0,001493	1,475		0,002201
0,000373	5,9		0,002201
0,001493	1,475		0,002201

5.2.2.2.6 Indisponibilidad “Chasis y Carrocería”

Tabla 20 Cálculo de indisponibilidad del sistema de chasis y carrocería

Tasa de Fallas	MTTR	Fórmula	Resultado
0,000373	18,68	$Indisponibilidad = T_{Fallas} * MTTR$	0,006970
0,000373	18,68		0,006970
0,000373	18,68		0,006970
0,001493	4,67		0,006970
0,017910	0,389166667		0,006970
0,004478	1,556666667		0,006970

5.2.2.3 Costo Global

El costo global es el producto entre el costo global especifico que es el resultado del gasto por mantenimiento y la indisponibilidad.

$$C_{GLOBAL} = C_{GE} * Indisponibilidad \quad [9]$$

Donde:

C_{GLOBAL} = Costo Global.

C_{GE} = Costo Global Especifico.

MÀQUINA	SISTEMA	ACTIVIDAD	Cge	Indisponibilidad	Cg
RODILLO 14 INGERSOLL RAND SD-100D B AÑO: 1999	MOTOR	CAMBIO DE FILTRO DE COMBUSTIBLE	0,001954158	0,002630597	5,1406E-06
		CAMBIO DE FILTRO RACOR	0,001298513	0,002630597	3,4159E-06
		CAMBIO DE FILTROS DE AIRE P/S	0,006085009	0,002630597	1,6007E-05
		REVISIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN	0,003684239	0,002630597	9,6917E-06
		ARREGLO FUGA DE COMBUSTIBLE	0,007014925	0,002630597	1,8453E-05
		CAMBIO DE BANDA DE VENTILADOR	0	0	0
		CAMBIO DE ACEITE DE MOTOR	0	0	0
		CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE MOTOR	0	0	0
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE MOTOR	0	0	0
		CAMBIO DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	0	0	0
		AJUSTE DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	0	0	0
		REVISIÓN DEL SISTEMA DE ENCENDIDO	0	0	0
		REVISIÓN DEL MOTOR	0	0	0
		CALIBRACIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISIÓN Y ESCAPE	0	0	0
		CAMBIO DE BASES DEL MOTOR	0	0	0
	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	0,006898539	0,00113806	7,8509E-06
		CAMBIO DE ACEITE DEL DIFERENCIAL	0,004206269	0,00113806	4,787E-06
		CAMBIO DE ACEITE DE MANDOS FINALES	0,002055336	0,00113806	2,3391E-06
		CAMBIO DE ACEITE DE LA MASA	0,039430354	0,00113806	4,4874E-05
		CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	0,001586455	0,00113806	1,8055E-06
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	0,001147923	0,00113806	1,3064E-06
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DEL DIFERENCIAL	0,000916897	0,00113806	1,0435E-06
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE MANDOS FINALES	0,000648315	0,00113806	7,3782E-07
		AJUSTE DE ACEITE DE LA MASA	0,004370149	0,00113806	4,9735E-06
		CAMBIO DE CRUCETAS DEL CARDÁN	0,007966418	0,00113806	9,0663E-06
		REPARACIÓN DE NEUMÁTICO	0,000592739	0,00113806	6,7457E-07
		CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE DEL ORBITROL	0,002238806	0,001119403	2,5061E-06
	DIRECCIÓN	CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE DEL GATO HIDRÁULICO DE LA DIRECCIÓN	0,004104478	0,001119403	4,5946E-06
	ELÉCTRICO	REVISIÓN SISTEMA ELÉCTRICO	0,001514507	0,000955224	1,4467E-06
		REVISIÓN DE LUCES	0,00159204	0,000955224	1,5208E-06
		CAMBIO DE FOCOS	0,000636816	0,000955224	6,083E-07
		AJUSTE DE NIVEL DE ELECTROLITO EN LA BATERÍA	0,000427303	0,000955224	4,0817E-07
		CAMBIO DE FUSIBLES	0,000350249	0,000955224	3,3457E-07
		CAMBIO DE CARBONES DE ALTERNADOR	0,002011701	0,000955224	1,9216E-06
	HIDRÁULICO	CAMBIO DE ACEITE HIDRÁULICO	0,093570771	0,002201493	0,000206
		CAMBIO DE FILTRO HIDRÁULICO	0,004246679	0,002201493	9,349E-06
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE HIDRÁULICO	0,00512379	0,002201493	1,128E-05
		REVISIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	0,002964911	0,002201493	6,5272E-06
		CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	0,007338308	0,002201493	1,6155E-05
		CAMBIO DE KIT DE SELLOS DE GATOS HIDRÁULICOS	0,016878109	0,002201493	3,7157E-05
		CAMBIO DE MANGUERA HIDRÁULICA	0,005508685	0,002201493	1,2127E-05
	CHASIS Y CARROCERIA	SUELDAS VARIAS	0,02196294	0,006970149	0,00015308
		EXTRACCIÓN DE PERNOS ROTOS	0,02196294	0,006970149	0,00015308
		REPARACIÓN DE LA MASA	0,154337692	0,006970149	0,00107576
		CAMBIO DE GRASEROS	0,005059748	0,006970149	3,5267E-05
		ENGRASADO DEL EQUIPO	0,004022405	0,006970149	2,8037E-05
		USO DE WIPE	0,000468355	0,006970149	3,2645E-06

Figura 16 Cálculo del costo global

Fuente: Autores

5.2.2.3.1 Costo Global "Motor"

Tabla 21 Cálculo del costo global del sistema de motor

Costo Global Especifico	Indisponibilidad	Fórmula	Resultado
0,001954158	0,002630597	$C_{GLOBAL} = C_{GE} * Indisponibilidad$	0,0000051406
0,001298513	0,002630597		0,0000034159
0,006085009	0,002630597		0,000016007
0,003684239	0,002630597		0,0000096917
0,007014925	0,002630597		0,000018453
0	0		0
0	0		0
0	0		0
0	0		0
0	0		0
0	0		0
0	0		0
0	0		0
0	0		0
0	0		0

5.2.2.3.2 Costo Global "Transmisión"

Tabla 22 Cálculo del costo global del sistema de transmisión

Costo Global Especifico	Indisponibilidad	Fórmula	Resultado
0,006899	0,001138	$C_{GLOBAL} = C_{GE} * Indisponibilidad$	0,0000078509
0,004206	0,001138		0,000004787
0,002055	0,001138		0,0000023391
0,039430	0,001138		0,000044874
0,001586	0,001138		0,0000018055
0,001148	0,001138		0,0000013064
0,000917	0,001138		0,0000010435
0,000648	0,001138		0,00000073782
0,004370	0,001138		0,0000046735
0,007966	0,001138		0,0000090663
0,000593	0,001138		0,00000067457

5.2.2.3.3 Costo Global "Dirección"

Tabla 23 Cálculo del costo global del sistema de dirección

Costo Global Especifico	Indisponibilidad	Fórmula	Resultado
0,002239	0,001119	$C_{GLOBAL} = C_{GE} * Indisponibilidad$	0,0000025061
0,004104	0,001119		0,0000045946

5.2.2.3.4 Costo Global "Eléctrico"

Tabla 24 Cálculo del costo global del sistema eléctrico

Costo Global Especifico	Indisponibilidad	Fórmula	Resultado
0,001515	0,000955	$C_{GLOBAL} = C_{GE} * Indisponibilidad$	0,0000014467
0,001592	0,000955		0,0000015208
0,000637	0,000955		0,00000060830
0,000427	0,000955		0,00000040817
0,000350	0,000955		0,00000033457
0,002012	0,000955		0,0000019216

5.2.2.3.5 Costo Global "Hidráulico"

Tabla 25 Cálculo del costo global del sistema hidráulico

Costo Global Especifico	Indisponibilidad	Fórmula	Resultado
0,093571	0,002201	$C_{GLOBAL} = C_{GE} * Indisponibilidad$	0,00020600
0,004247	0,002201		0,00000093490
0,005124	0,002201		0,000011280
0,002965	0,002201		0,0000065272
0,007338	0,002201		0,000016155
0,016878	0,002201		0,000037157
0,005509	0,002201		0,000012127

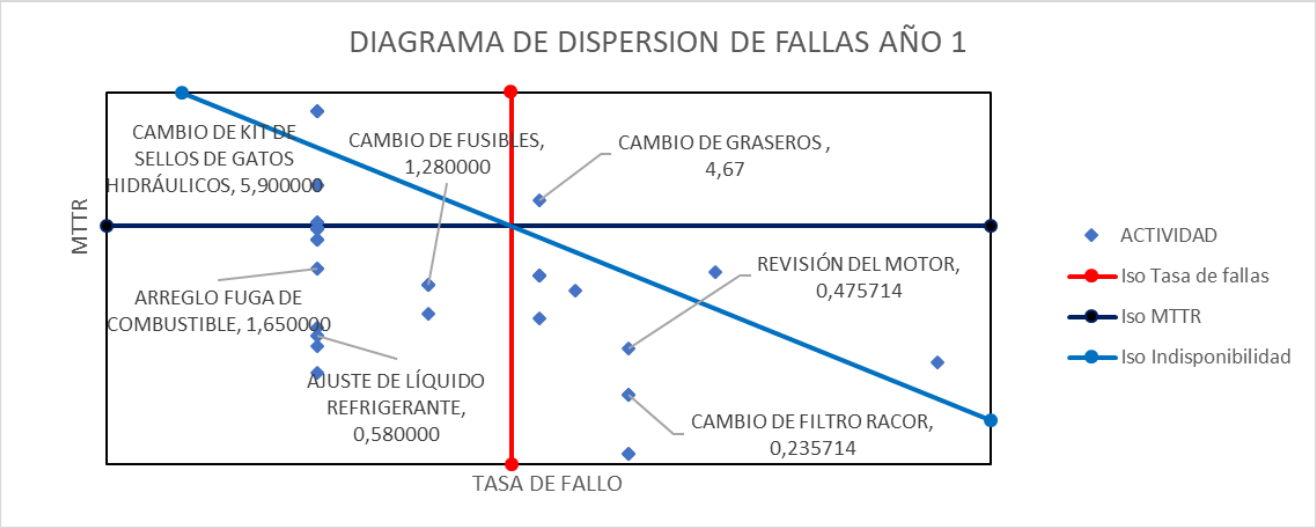
5.2.2.3.6 Costo Global "Chasis y Carrocería"

Tabla 26 Cálculo del costo global del sistema de chasis y carrocería

Costo Global Especifico	Indisponibilidad	Fórmula	Resultado
0,021963	0,006970	$C_{GLOBAL} = C_{GE} * Indisponibilidad$	0,00015308
0,021963	0,006970		0,00015308
0,154338	0,006970		0,0010758
0,005060	0,006970		0,000035267
0,004022	0,006970		0,000028037
0,000468	0,006970		0,0000032645

5.2.3 Gráfica de Indicadores

Una vez ya obtenidos los valores calculados de cada uno de los factores, se realiza un promedio de cada uno de estos dentro del año.



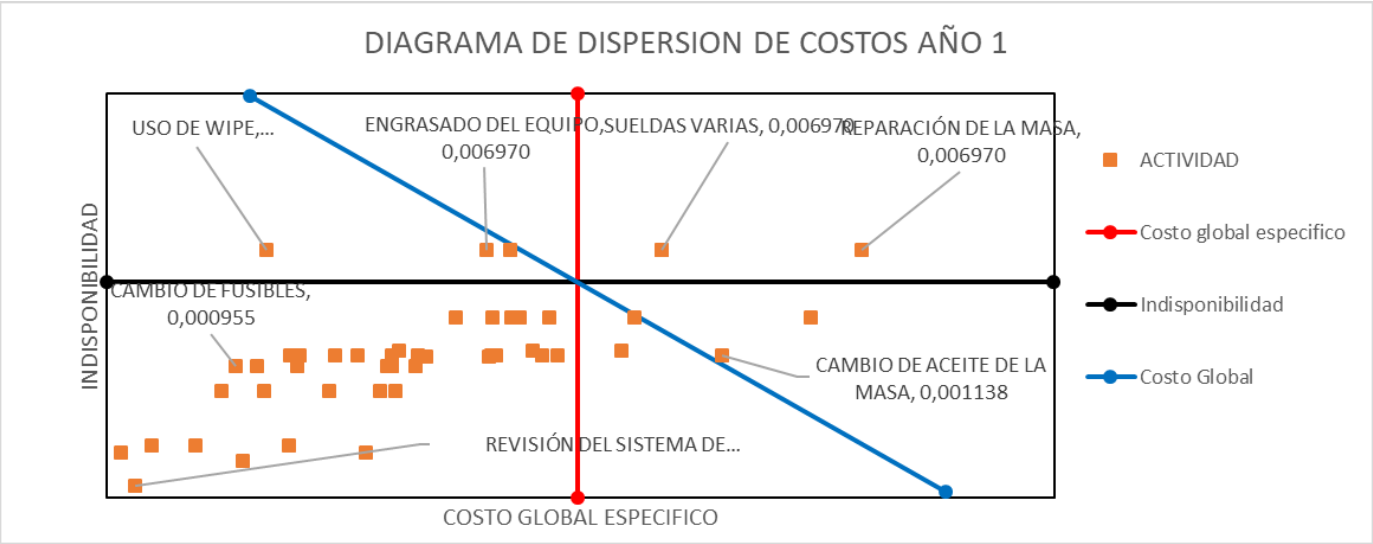


Figura 17 Gráficas de Fallas y Costos con el Método de Dispersión Logarítmica Jack Knife

Fuente: Autores

Los promedios pueden ser separados según costos y fallas ya que con estos se enmarcará los ejes que limitaran los cuadrantes del método, así posicionando a cada actividad en los rangos de gravedad que representen cada uno de estos.

5.2.3.1 Gráfica de Fallas

Para el gráfico de fallas se deben tomar en cuenta los siguientes indicadores:

5.2.3.1.1 Iso Tasa de Fallas

Este indicador refiere al eje de las ordenadas dentro del método de dispersión logarítmica Jack Knife y enmarca la frecuencia con la que falla un equipo gráficamente según la actividad que se haya desarrollado para su reparación; se lo obtiene mediante el promedio de los valores de la tasa de fallas de la máquina a lo largo del año. Se mostrarán dos puntos que deberán ser unidos por una línea para formar el eje total.

Gráfico fallas		
	x	y
Iso Tasa de fallas	0,001254	0,08
	0,001254	25

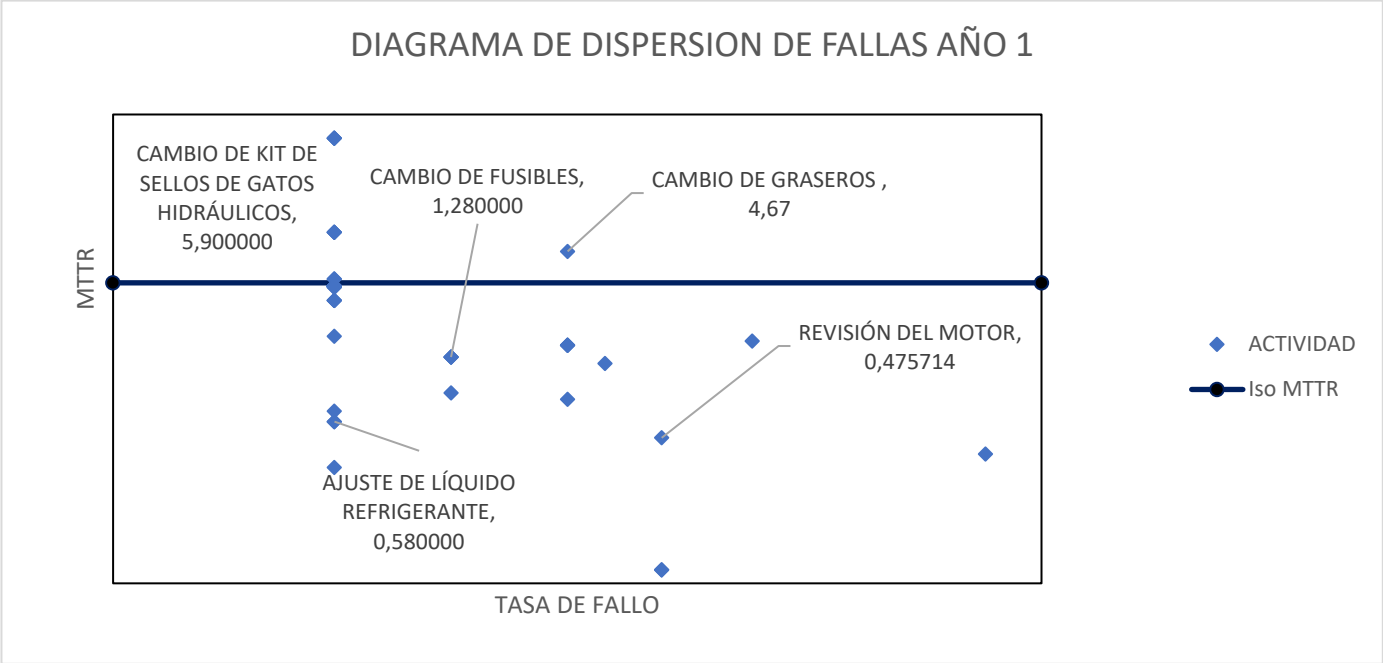


Figura 18 Tabla de Gráfico de Fallas (Iso Tasa de Fallas)

Fuente: Autores

En la tabla que se muestra en la figura existen dos valores que son para proyectar los puntos por parte de "x" y el "y", los valores son los limites aleatorios que marcaran los valores de las actividades.

5.2.3.1.2 Iso MTTR

El eje de las abscisas comandado por el MTTR (Mean Time to Repair "tiempo medio de reparación") indica el lapso de tiempo que tomará la actividad y por ende la máquina permanecerá inactiva.

Gráfico fallas		
Iso MTTR	0,0001	3,17689463
	0,025	3,17689463

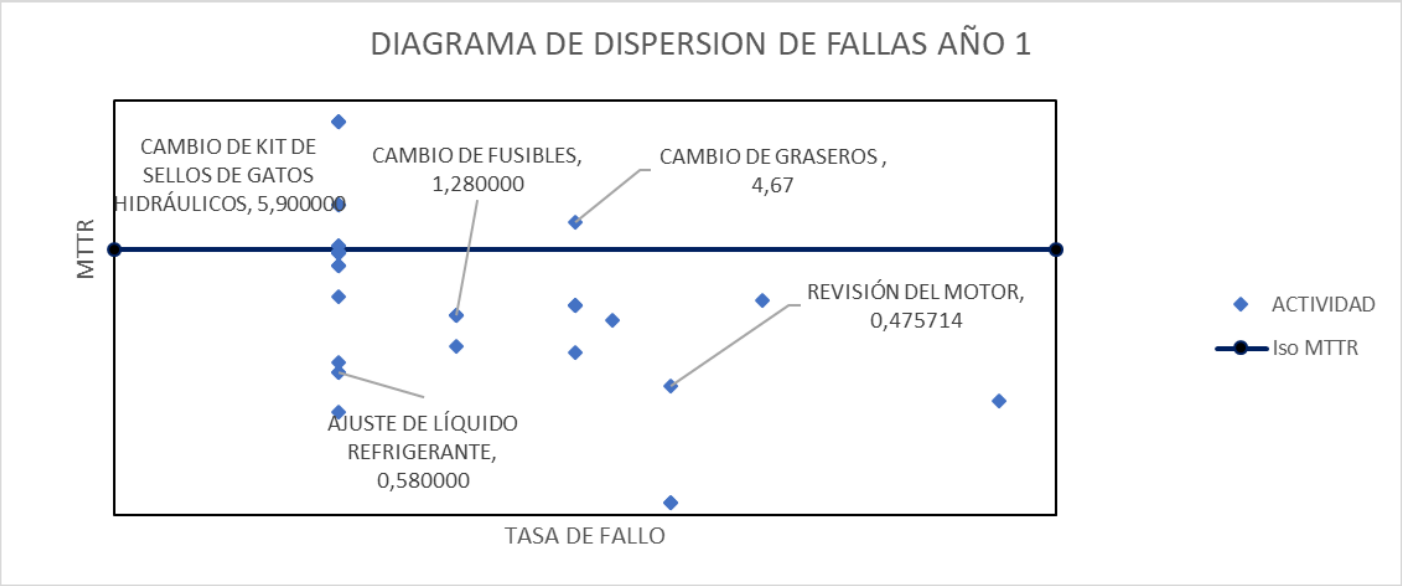


Figura 19 Tabla de Gráfico de Fallas (Iso MTTR)

Fuente: Autores

El promedio del MTTR será el encargado de llevar este límite que ocupa el lado de "y" en la tabla y por el derecho valores que serán delimitados por las actividades.

5.2.3.1.3 Iso Indisponibilidad

Gráfico fallas		
Iso Indisponibilidad	0,00016	24,9061881
	0,025	0,1593996

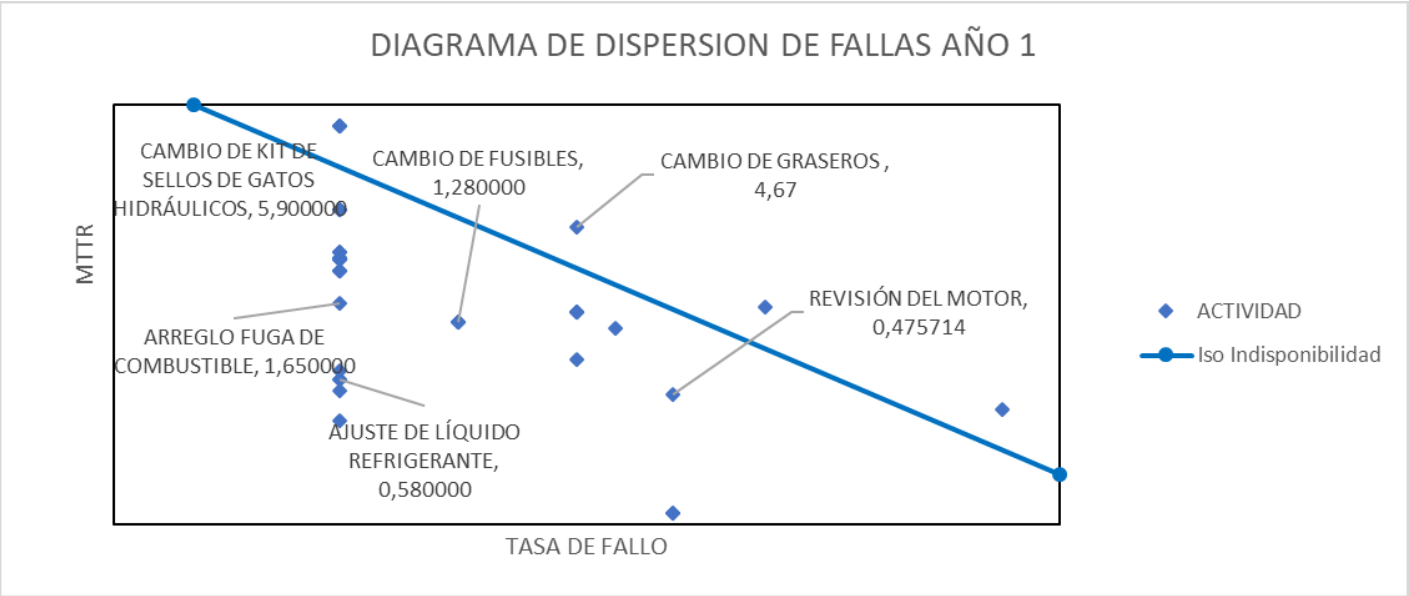


Figura 20 Tabla de Gráfico de Fallas (Iso Indisponibilidad)

Fuente: Autores

La pendiente que origina la indisponibilidad se da gracias al promedio de la indisponibilidad de las actividades calculadas en el periodo de un año; se traduce a que la actividad que más este cercana a la pendiente es la que más tiempo esta inoperable mientras la actividad sea finalizada.

5.2.3.2 Gráfico de Costos

Para el análisis gráfico de costos aplicado el método de dispersión logarítmico Jack Knife se deben tomar en cuenta los siguientes indicadores:

5.2.3.2.1 Costo Global Especifico

Al igual que los demás indicadores las actividades que se encuentren cercanas al eje de las ordenadas que refiere al costo global especifico, representan un costo individual es decir precio del insumo en exceso alto para el gasto destinado al mantenimiento.

Gráfico costos		
	x	y
Costo global especifico	0,009714208	0,0001
	0,009714208	0,1

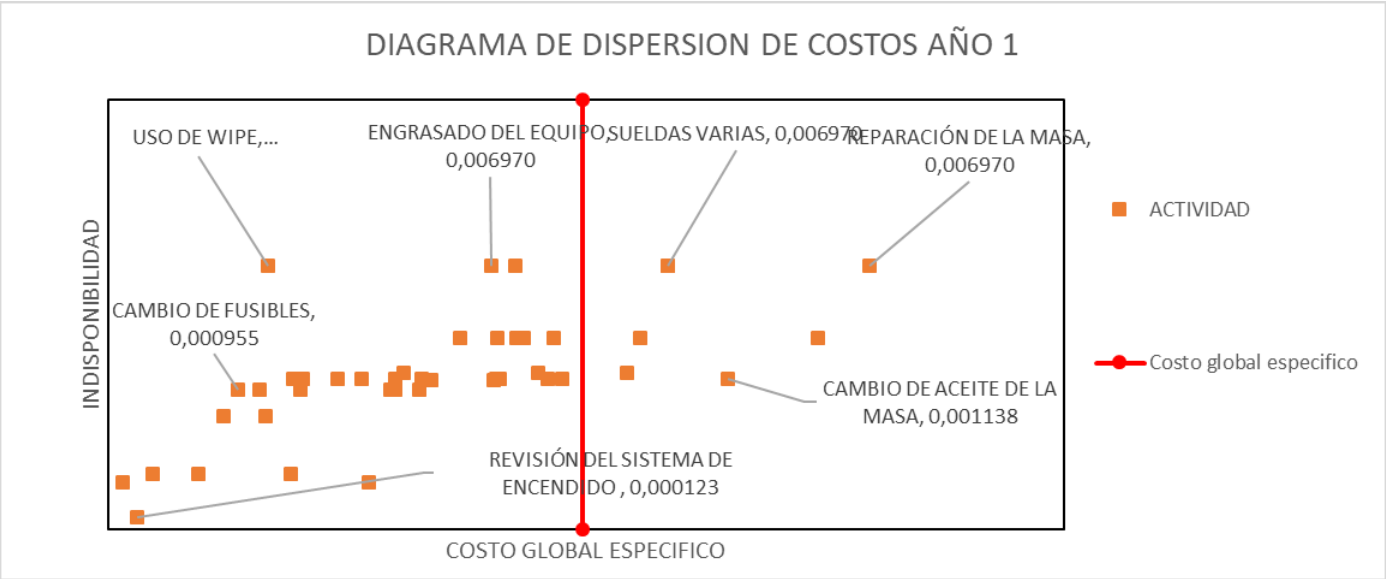


Figura 21 Tabla de Gráfico de Costos (Costo Global Especifico)

Fuente: Autores

El resultado es un consumo desequilibrado del capital del plan de mantenimiento en comparación a las demás actividades.

5.2.3.2.2 Indisponibilidad

El presente inciso refiere a la frecuencia con la que el equipo detiene la producción por causas de fallas.

Gráfico costos		
	x	y
Indisponibilidad	0,0001	0,3985%
	1	0,3985%

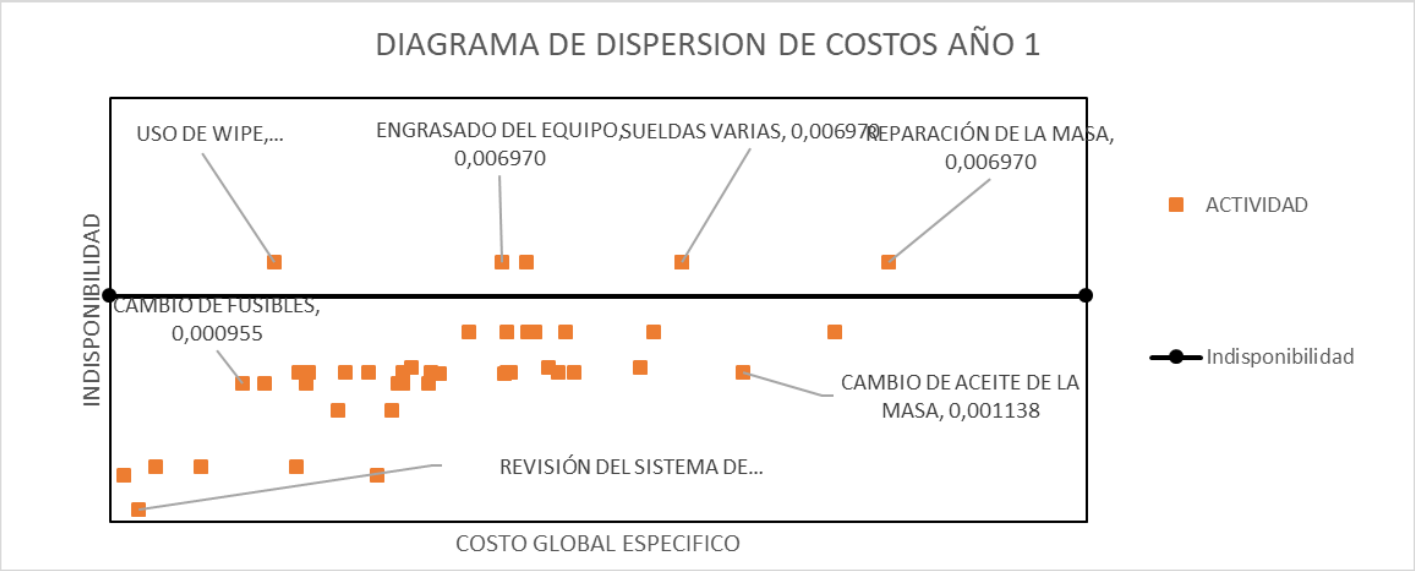


Figura 22 Tabla de Gráfico De Costos (Indisponibilidad)

Fuente: Autores

Las actividades que se encuentren adyacentes al eje de las ordenadas son actividades por las cuales la máquina se ve obligada a permanecer en modo de detención, dando, así como resultado una producción frenada.

5.2.3.2.3 Costo Global

Gráfico costos		
	x	y
Costo Global	0,0004	0,096777553
	0,35	0,000110603

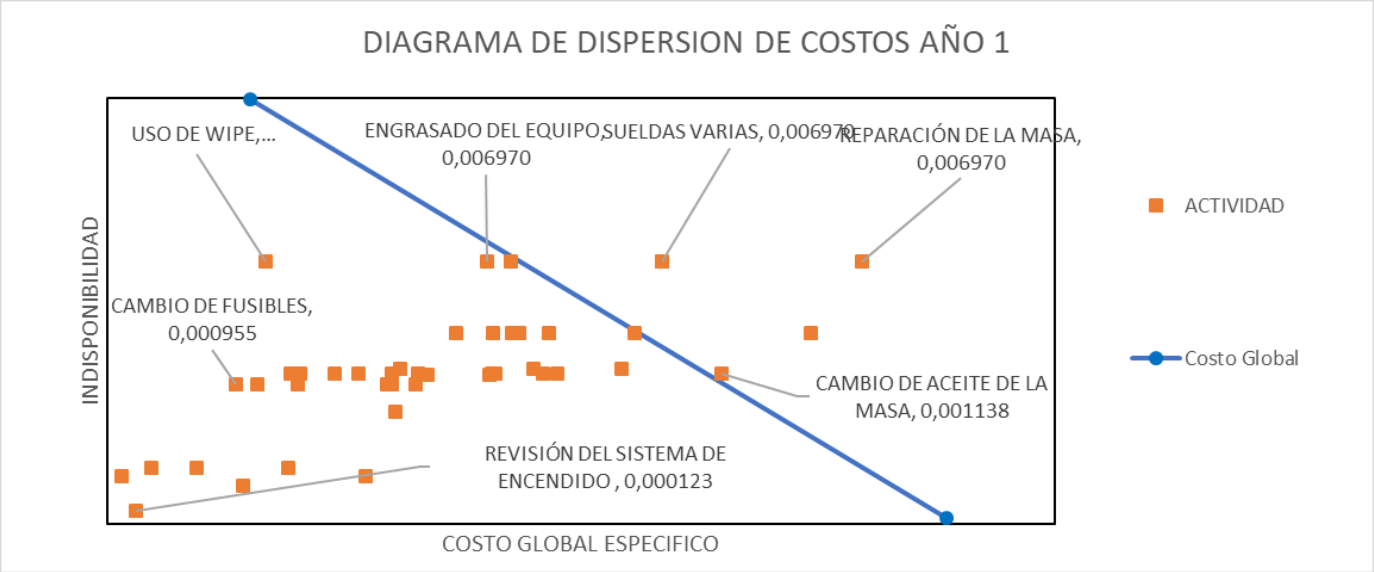


Figura 23 Tabla de Gráfico de Costos (Costo Global)

Fuente: Autores

Las actividades que son cercanas a esta pendiente son las que representan un gasto exorbitante directo al capital destinado al mantenimiento de los equipos. A diferencia del costo global especifico, en el costo global se toman en cuenta los demás factores.

5.3 Aplicación del Método Jack Knife en la Motoniveladora Komatsu

Máquina muy versátil usada para mover tierra u otro material suelto. Su función principal es nivelar, modelar o dar la pendiente necesaria al material en que trabaja. Se considera como una máquina de terminación superficial. Su versatilidad está dada por los diferentes movimientos de la

hoja, como por la serie de accesorios que puede tener. Puede imitar todos los tipos de tractores, pero su diferencia radica en que la motoniveladora es más frágil, ya que no es capaz de aplicar la potencia de movimiento ni la de corte del tractor. Debido a esto es más utilizada en tareas de acabado o trabajos de precisión. Las motoniveladoras pueden ser arrastradas o automotrices, siendo esta última la más utilizada y se denomina motoniveladora.

5.3.1 Cálculo de Fallas

Para el gráfico de fallas se deben tomar en cuenta los siguientes indicadores:

5.3.1.1 Total de Fallas

Para calcular el total de fallas se realiza una sumatoria del número de intervenciones que ha tenido la máquina a lo largo de su año laboral, ya que refieren al número de fallas que ha tenido la máquina. Su forma de cálculo es la siguiente:

$$\sum \#_{INTERVENCIONES} \qquad [4]$$

Suponiendo:

$\#_{INTERVENCIONES}$= Número de intervenciones (En un año).

MÀQUINA	SISTEMA	ACTIVIDAD	NÚMERO DE VECES QUE HA FALLADO LA MÁQUINA
MOTONIVELADORA 17 KOMATSU GD-555-11280 AÑO: 2011	MOTOR	CAMBIO DE FILTRO DE COMBUSTIBLE	8
		CAMBIO DE FILTRO RACOR	8
		CAMBIO DE FILTROS DE AIRE P/S	2
		REVISIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN	1
		ARREGLO FUGA DE COMBUSTIBLE	1
		CAMBIO DE BANDA DE VENTILADOR	1
		CAMBIO DE ACEITE DE MOTOR	8
		CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE MOTOR	8
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE MOTOR	2
		CAMBIO DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	1
		AJUSTE DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	1
		REVISIÓN DEL SISTEMA DE ENCENDIDO	1
		REVISIÓN DEL MOTOR	8
		CALIBRACIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISIÓN Y ESCAPE	1
		CAMBIO DE BASES DEL MOTOR	1
	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	1
		CAMBIO DE ACEITE DEL DIFERENCIAL	1
		CAMBIO DE ACEITE DEL TANDEM	1
		CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	1
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	1
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DEL DIFERENCIAL	1
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DEL TANDEM	1
		CAMBIO DE CRUCETAS DEL CARDÁN	1
		REPARACIÓN DE NEUMÁTICO	4
	DIRECCIÓN	CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE DEL ORBITROL	1
		CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE DEL GATO HIDRÁULICO DE LA DIRECCIÓN	1
	ELÉCTRICO	REVISIÓN SISTEMA ELÉCTRICO	2
		REVISIÓN DE LUCES	1
		CAMBIO DE FOCOS	4
		AJUSTE DE NIVEL DE ELECTROLITO EN LA BATERÍA	1
		CAMBIO DE FUSIBLES	4
		CAMBIO DE CARBONES DE ALTERNADOR	1
	HIDRÁULICO	CAMBIO DE ACEITE HIDRÁULICO	1
		CAMBIO DE FILTRO HIDRÁULICO	2
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE HIDRÁULICO	17
		REVISIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	5
		CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	5
		CAMBIO DE KIT DE SELLOS DE GATOS HIDRÁULICOS	1
		CAMBIO DE MANGUERA HIDRÁULICA	2
	CHASIS Y CARROCERIA	SUELDAS VARIAS	1
		EXTRACCIÓN DE PERNOS ROTOS	1
		REPARACIÓN DE HOJA VERTEDERA	1
		CAMBIO DE BUJES, PINES Y BOCINES	1
		CAMBIO DE GRASEROS	6
		REPARACIÓN DEL ESCARIFICADOR	1
		ENGRASADO DEL EQUIPO	48
		USO DE WIPE	12

Figura 24 Cálculo de Total de Fallas de la Motoniveladora

Fuente: Autores

Los datos aquí presentados representan las fallas que ha tenido el equipo a lo largo del año laboral.

5.3.1.1.1 Total de Fallas "Motor"

$$\sum \#_{INTERVENCIONES} = 52$$

5.3.1.1.2 Total de Fallas "Transmisión"

$$\sum \#_{INTERVENCIONES} = 12$$

5.3.1.1.3 Total de Fallas "Dirección"

$$\sum \#_{INTERVENCIONES} = 2$$

5.3.1.1.4 Total de Fallas "Eléctrico"

$$\sum \#_{INTERVENCIONES} = 13$$

5.3.1.1.5 Total de Fallas “Hidráulico”

$$\sum \#_{INTERVENCIONES} = 33$$

5.3.1.1.6 Total de Fallas “Chasis y Carrocería”

$$\sum \#_{INTERVENCIONES} = 71$$

5.3.1.2 Tasa de Fallas

Refiere a la frecuencia con la que presenta irregularidades interrumpiendo su ciclo de trabajo. La forma de cálculo es la siguiente:

$$TF = \frac{1}{T_E/\#_{INT.}} \qquad [5]$$

Por lo tanto:

TF =Tasa de fallas.

T_E = Tiempo de trabajo del equipo en el año (horas).

$\#_{INT}$ = Número de intervenciones.

T (hr) por equipo	2680

MÀQUINA	SISTEMA	ACTIVIDAD	NÚMERO DE VECES QUE HA FALLADO LA MÁQUINA
MOTONIVELADORA 17 KOMATSU GD-555-11280 AÑO: 2011	MOTOR	CAMBIO DE FILTRO DE COMBUSTIBLE	8
		CAMBIO DE FILTRO RACOR	8
		CAMBIO DE FILTROS DE AIRE P/S	2
		REVISIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN	1
		ARREGLO FUGA DE COMBUSTIBLE	1
		CAMBIO DE BANDA DE VENTILADOR	1
		CAMBIO DE ACEITE DE MOTOR	8
		CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE MOTOR	8
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE MOTOR	2
		CAMBIO DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	1
		AJUSTE DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	1
		REVISIÓN DEL SISTEMA DE ENCENDIDO	1
		REVISIÓN DEL MOTOR	8
		CALIBRACIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISIÓN Y ESCAPE	1
		CAMBIO DE BASES DEL MOTOR	1
	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	1
		CAMBIO DE ACEITE DEL DIFERENCIAL	1
		CAMBIO DE ACEITE DEL TANDEM	1
		CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	1
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	1
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DEL DIFERENCIAL	1
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DEL TANDEM	1
		CAMBIO DE CRUCETAS DEL CARDÁN	1
		REPARACIÓN DE NEUMÁTICO	4
	DIRECCIÓN	CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE DEL ORBITROL	1
		CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE DEL GATO HIDRÁULICO DE LA DIRECCIÓN	1
	ELÉCTRICO	REVISIÓN SISTEMA ELÉCTRICO	2
		REVISIÓN DE LUCES	1
		CAMBIO DE FOCOS	4
		AJUSTE DE NIVEL DE ELECTROLITO EN LA BATERÍA	1
		CAMBIO DE FUSIBLES	4
		CAMBIO DE CARBONES DE ALTERNADOR	1
	HIDRÁULICO	CAMBIO DE ACEITE HIDRÁULICO	1
		CAMBIO DE FILTRO HIDRÁULICO	2
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE HIDRÁULICO	17
		REVISIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	5
		CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	5
		CAMBIO DE KIT DE SELLOS DE GATOS HIDRÁULICOS	1
		CAMBIO DE MANGUERA HIDRÁULICA	2
	CHASIS Y CARROCERIA	SUELDAS VARIAS	1
		EXTRACCIÓN DE PERNOS ROTOS	1
		REPARACIÓN DE HOJA VERTEDERA	1
		CAMBIO DE BUJES, PINES Y BOCINES	1
		CAMBIO DE GRASEROS	6
		REPARACIÓN DEL ESCARIFICADOR	1
		ENGRASADO DEL EQUIPO	48
		USO DE WIPE	12

Figura 25 Cálculo de la Tasa de Fallas

Fuente: Autores

5.3.1.2.1 Tasa de Falla "Motor"

Tabla 27 Resultado para el cálculo de tasa de falla del sistema de motor

Número de Veces que ha Fallado la Máquina (Número de intervenciones)	**Hora de trabajo en un año del equipo (h)**	**Fórmula**	**Resultado**
8	2680	$TF = \frac{1}{T_E/\#_{INT.}}$	0,002985
8			0.002985
2			0,000746
1			0,000373
1			0,000373
1			0,000373
8			0,002985
8			0,002985
2			0,000746
1			0,000373
1			0,000373
1			0,000373
8			0,002985
1			0,000373
1			0,000373

5.3.1.2.2 Tasa de Falla "Transmisión"

Tabla 28 Resultado para el cálculo de tasa de falla del sistema de transmisión

Número de Veces que ha Fallado la Máquina (Número de intervenciones)	Hora de trabajo en un año del equipo (h)	Fórmula	Resultado
1	2680	$TF = \frac{1}{T_E/\#_{INT.}}$	0,000373
1			0,000373
1			0,000373
1			0,000373
1			0,000373
1			0,000373
1			0,000373
1			0,000373
4			0,001493

5.3.1.2.3 Tasa de Falla "Dirección"

Tabla 29 Resultado para el cálculo de tasa de falla del sistema de dirección

Número de Veces que ha Fallado la Máquina (Número de intervenciones)	Hora de trabajo en un año del equipo (h)	Fórmula	Resultado
1	2680	$TF = \frac{1}{T_E/\#_{INT.}}$	0,000373
1			0,000373

5.3.1.2.4 Tasa de Falla "Eléctrico"

Tabla 30 Resultado para el cálculo de tasa de falla del sistema eléctrico

Número de Veces que ha Fallado la Máquina (Número de intervenciones)	Hora de trabajo en un año del equipo (h)	Fórmula	Resultado
2	2680	$TF = \frac{1}{T_E/\#_{INT.}}$	0,000746
1			0,000373
4			0,001493
1			0,000373
4			0,001493
1			0,000373

5.3.1.2.5 Tasa de Falla "Hidráulico"

Tabla 31 Resultado para el cálculo de tasa de falla del sistema hidráulico

Número de Veces que ha Fallado la Máquina (Número de intervenciones)	Hora de trabajo en un año del equipo (h)	Fórmula	Resultado
1	2680	$TF = \frac{1}{T_E/\#_{INT.}}$	0,000373
2			0,000746
17			0,006343
5			0,001866
5			0,001866
1			0,000373
2			0,000746

5.3.1.2.6 Tasa de Falla "Chasis y Carrocería"

Tabla 32 Resultado para el cálculo de tasa de falla del sistema de chasis y carrocería

Número de Veces que ha Fallado la Máquina (Número de intervenciones)	Hora de trabajo del equipo (h)	Fórmula	Resultado
1	2680	$TF = \frac{1}{T_E/\#_{INT.}}$	0,000373
1			0,000373
1			0,000373
1			0,000373
6			0,002239
1			0,000373
48			0,017910
12			0,004478

5.3.1.3 MTTR

Mean Time to Repair (MTTR), como su nombre lo indica es el tiempo medio necesario para solucionar un fallo o avería en el equipo.

$$MTTR = \frac{STTR}{\#_{INT}}$$

Donde:

$MTTR =$ Mean Time to Repair (tiempo medio de reparación).

$STTR =$ Tiempo total para reparar (h)

$\#_{INT} =$ Número de intervenciones.

MÀQUINA	SISTEMA	ACTIVIDAD	NÚMERO DE VECES QUE HA FALLADO LA MÁQUINA	COSTO TOTAL	MTTR
MOTONIVELADORA 17 KOMATSU GD-555-11280 AÑO: 2011	MOTOR	CAMBIO DE FILTRO DE COMBUSTIBLE	8	211,65	0,88125
		CAMBIO DE FILTRO RACOR	8	231,62	0,88125
		CAMBIO DE FILTROS DE AIRE P/S	2	229,25	3,525
		REVISIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN	1	42,016	7,05
		ARREGLO FUGA DE COMBUSTIBLE	1	80	7,05
		CAMBIO DE BANDA DE VENTILADOR	1	73,76	0
		CAMBIO DE ACEITE DE MOTOR	8	834,57	0
		CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE MOTOR	8	458,18	0
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE MOTOR	2	57,06	0
		CAMBIO DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	1	171,49	0
		AJUSTE DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	1	74,25	0
		REVISIÓN DEL SISTEMA DE ENCENDIDO	1	32,016	0
		REVISIÓN DEL MOTOR	8	330	0
		CALIBRACIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISIÓN Y ESCAPE	1	205,71	0
		CAMBIO DE BASES DEL MOTOR	1	360	0
	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	1	246,26	3,81
		CAMBIO DE ACEITE DEL DIFERENCIAL	1	165,59	3,81
		CAMBIO DE ACEITE DEL TANDEM	1	1071,31	3,81
		CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	1	68,62	3,81
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	1	24,99	3,81
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DEL DIFERENCIAL	1	26,97	3,81
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DEL TANDEM	1	30,27	3,81
		CAMBIO DE CRUCETAS DEL CARDÁN	1	107,41	3,81
		REPARACIÓN DE NEUMÁTICO	4	62,5	0,9525
	DIRECCIÓN	CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE DEL ORBITROL	1	60	3
		CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE DEL GATO HIDRÁULICO DE LA DIRECCIÓN	1	81,49	3
	ELÉCTRICO	REVISIÓN SISTEMA ELÉCTRICO	2	95,13	1,28
		REVISIÓN DE LUCES	1	50	2,56
		CAMBIO DE FOCOS	4	52,86	0,64
		AJUSTE DE NIVEL DE ELECTROLITO EN LA BATERÍA	1	14,53	2,56
		CAMBIO DE FUSIBLES	4	42	0,64
		CAMBIO DE CARBONES DE ALTERNADOR	1	71,36	2,56
	HIDRÁULICO	CAMBIO DE ACEITE HIDRÁULICO	1	751,14	5,9
		CAMBIO DE FILTRO HIDRÁULICO	2	287,78	2,95
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE HIDRÁULICO	17	599,33	0,347058824
		REVISIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	5	202,016	1,18
		CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	5	414,25	1,18
		CAMBIO DE KIT DE SELLOS DE GATOS HIDRÁULICOS	1	1460,7	5,9
		CAMBIO DE MANGUERA HIDRÁULICA	2	208,21	2,95
	CHASIS Y CARROCERIA	SUELDAS VARIAS	1	101,06	29,68
		EXTRACCIÓN DE PERNOS ROTOS	1	94,53	29,68
		REPARACIÓN DE HOJA VERTEDERA	1	1077,49	29,68
		CAMBIO DE BUJES, PINES Y BOCINES	1	250	29,68
		CAMBIO DE GRASEROS	6	99,18	4,946666667
		REPARACIÓN DEL ESCARIFICADOR	1	1204	29,68
		ENGRASADO DEL EQUIPO	48	831,01	0,618333333
		USO DE WIPE	12	24,19	2,473333333

Figura 26 Cálculo del MTTR de las actividades de falla de cada sistema

Fuente: Autores

5.3.1.3.1 MTTR "Motor"

Tabla 33 Resultado del cálculo del MTTR del sistema del motor

Número de Veces que ha Fallado la Máquina (Número de intervenciones)	Tiempo Fuera de Servicio (h) [TFS]	STTR (Tiempo totales para reparar) [h]	Fórmula	Resultado
8	0,16	7,05	$MTTR = STTR/\#_{INT}$	0,88125
8	0,08			0,88125
2	0,08			3,525
1	0,33			7,05
1	1			7,05
1	0,5			0
8	0,5			0
8	0,08			0
2	0,08			0
1	0,33			0
1	0,25			0
1	0,33			0
8	0,33			0
1	1			0
1	2			0

5.3.1.3.2 MTTR "Transmisión"

Tabla 34 Resultado del cálculo del MTTR del sistema de transmisión

Número de Veces que ha Fallado la Máquina (Número de intervenciones)	Tiempo Fuera de Servicio (h) [TFS]	STTR (Tiempo totales para reparar) [h]	Fórmula	Resultado
1	0,5	3,05	$MTTR = STTR/\#_{INT}$	3,81
1	0,16			3,81
1	1,5			3,81
1	0,08			3,81
1	0,16			3,81
1	0,08			3,81
1	0,33			3,81
1	0,5			3,81
4	0,5			0,9525

5.3.1.3.3 MTTR "Dirección"

Tabla 35 Resultado del cálculo del MTTR del sistema de la dirección

Número de Veces que ha Fallado la Máquina (Número de intervenciones)	Tiempo Fuera de Servicio (h) [TFS]	STTR (Tiempo totales para reparar) [h]	Fórmula	Resultado
1	1,5	3	$MTTR = STTR/\#_{INT}$	3
1	1,5			3

5.3.1.3.4 MTTR "Eléctrico"

Tabla 36 Resultado del cálculo del MTTR del sistema eléctrico

Número de Veces que ha Fallado la Máquina (Número de intervenciones)	Tiempo Fuera de Servicio (h) [TFS]	STTR (Tiempo totales para reparar) [h]	Fórmula	Resultado
2	1	2,56	$MTTR = STTR/\#_{INT}$	1,28
1	0,16			2,56
4	0,16			0,64
1	0,08			2,56
4	0,16			0,64
1	1			2,56

5.3.1.3.5 MTTR "Hidráulico"

Tabla 37 Resultado del cálculo del MTTR del sistema hidráulico

Número de Veces que ha Fallado la Máquina (Número de intervenciones)	Tiempo Fuera de Servicio (h) [TFS]	STTR (Tiempo totales para reparar) [h]	Fórmula	Resultado
1	1	5,9	$MTTR = STTR/\#_{INT}$	5,9
2	0,08			2,95
17	0,16			0,347059
5	0,16			1,18
5	1,5			1,18
1	1			5,9
2	2			0,347059

5.3.1.3.6 MTTR "Chasis y Carrocería"

Tabla 38 Resultado del cálculo del MTTR del sistema de chasis y carrocería

Número de Veces que ha Fallado la Máquina (Número de intervenciones)	Tiempo Fuera de Servicio (h) [TFS]	STTR (Tiempo totales para reparar) [h]	Fórmula	Resultado
1	8	18,68	$MTTR = STTR/\#_{INT}$	29,68
1	2			29,68
1	6			29,68
1	8			29,68
6	0,16			4,946667
1	5			29,68
48	0,5			0,618333
12	0,02			2,473333

5.3.2 Cálculo de Costos

Para el método Jack Knife mediante el análisis gráfico en costos se deben tomar en consideración los siguientes indicadores:

5.3.2.1 Costo Global Especifico

El costo global es el producto entre el costo global especifico que es el resultado del gasto por mantenimiento y la indisponibilidad siendo el periodo de tiempo en el que el equipo queda fuera de servicio sin que este estuviese dentro del plan de mantenimiento.

$$C_{GE} = C_{TOTAL} * \left(\frac{1}{30}\right) * MTTR\left(\frac{1}{T_{TRABAJO}}\right)$$

Por lo tanto:

$C_{GE} =$ Costo Global Específico.

$C_{TOTAL} =$ Costo Total.

$MTTR =$ Mean Time to Repair (tiempo medio de reparación).

$T_{TRABAJO} =$ Tiempo de trabajo de la máquina en un año en horas.

$\frac{1}{30}$ = Transformación de meses.

T (hr) por equipo	2680

MÀQUINA	SISTEMA	ACTIVIDAD	NÚMERO DE VECES QUE HA FALLADO LA MÁQUINA	COSTO TOTAL	MTTR	Cge
MOTONIVELADORA 17 KOMATSU GD-555-11280 AÑO: 2011	MOTOR	CAMBIO DE FILTRO DE COMBUSTIBLE	8	211,65	0,88125	0,00231986
		CAMBIO DE FILTRO RACOR	8	231,62	0,88125	0,00253875
		CAMBIO DE FILTROS DE AIRE P/S	2	229,25	3,525	0,01005107
		REVISIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN	1	42,016	7,05	0,00368424
		ARREGLO FUGA DE COMBUSTIBLE	1	80	7,05	0,00701493
		CAMBIO DE BANDA DE VENTILADOR	1	73,76	0	0
		CAMBIO DE ACEITE DE MOTOR	8	834,57	0	0
		CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE MOTOR	8	458,18	0	0
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE MOTOR	2	57,06	0	0
		CAMBIO DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	1	171,49	0	0
		AJUSTE DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	1	74,25	0	0
		REVISIÓN DEL SISTEMA DE ENCENDIDO	1	32,016	0	0
		REVISIÓN DEL MOTOR	8	330	0	0
		CALIBRACIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISIÓN Y ESCAPE	1	205,71	0	0
		CAMBIO DE BASES DEL MOTOR	1	360	0	0
	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	1	246,26	3,81	0,01166978
		CAMBIO DE ACEITE DEL DIFERENCIAL	1	165,59	3,81	0,00784699
		CAMBIO DE ACEITE DEL TANDEM	1	1071,31	3,81	0,0507673
		CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	1	68,62	3,81	0,00325177
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	1	24,99	3,81	0,00118423
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DEL DIFERENCIAL	1	26,97	3,81	0,00127806
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DEL TANDEM	1	30,27	3,81	0,00143444
		CAMBIO DE CRUCETAS DEL CARDÁN	1	107,41	3,81	0,00508995
		REPARACIÓN DE NEUMÁTICO	4	62,5	0,9525	0,00074044
	DIRECCIÓN	CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE DEL ORBITROL	1	60	3	0,00223881
		CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE DEL GATO HIDRÁULICO DE LA DIRECCIÓN	1	81,49	3	0,00304067
	ELÉCTRICO	REVISIÓN SISTEMA ELÉCTRICO	2	95,13	1,28	0,00151451
		REVISIÓN DE LUCES	1	50	2,56	0,00159204
		CAMBIO DE FOCOS	4	52,86	0,64	0,00042078
		AJUSTE DE NIVEL DE ELECTROLITO EN LA BATERÍA	1	14,53	2,56	0,00046265
		CAMBIO DE FUSIBLES	4	42	0,64	0,00033433
		CAMBIO DE CARBONES DE ALTERNADOR	1	71,36	2,56	0,00227216
	HIDRÁULICO	CAMBIO DE ACEITE HIDRÁULICO	1	751,14	5,9	0,05512097
		CAMBIO DE FILTRO HIDRÁULICO	2	287,78	2,95	0,01055909
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE HIDRÁULICO	17	599,33	0,347058824	0,0025871
		REVISIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	5	202,016	1,18	0,00296491
		CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	5	414,25	1,18	0,00607979
		CAMBIO DE KIT DE SELLOS DE GATOS HIDRÁULICOS	1	1460,7	5,9	0,10719067
		CAMBIO DE MANGUERA HIDRÁULICA	2	208,21	2,95	0,00763955
	CHASIS Y CARROCERIA	SUELDAS VARIAS	1	101,06	29,68	0,03730673
		EXTRACCIÓN DE PERNOS ROTOS	1	94,53	29,68	0,03489615
		REPARACIÓN DE HOJA VERTEDERA	1	1077,49	29,68	0,39775999
		CAMBIO DE BUJES, PINES Y BOCINES	1	250	29,68	0,09228856
		CAMBIO DE GRASEROS	6	99,18	4,946666667	0,00610212
		REPARACIÓN DEL ESCARIFICADOR	1	1204	29,68	0,44446169
		ENGRASADO DEL EQUIPO	48	831,01	0,618333333	0,00639106
		USO DE WIPE	12	24,19	2,473333333	0,00074415

Figura 27 Cálculo del Costo Global Especifico

Fuente: Autores

5.3.2.1.1 Costo Global Especifico "Motor"

Tabla 39 Cálculo del costo global especifico del sistema del motor

Costo Total	MTTR	Hora de trabajo en un año del equipo (h)	Fórmula	Resultado
$ 211,65	0,88125	2680	$C_{GE} = C_{TOTAL} * \left(\frac{1}{30}\right) * MTTR \left(\frac{1}{T_{TRABAJO}}\right)$	0,00232
$ 231,62	0,88125			0,002539
$ 229,25	3,525			0,010051
$ 42,016	7,05			0,003684
$ 80,00	7,05			0,007015
$ 73,76	0			0
$ 834,57	0			0
$ 458,18	0			0
$ 57,06	0			0
$ 171,49	0			0
$ 74,25	0			0
$ 32,016	0			0
$ 330,00	0			0
$ 205,71	0			0
$ 360,00	0			0

5.3.2.1.2 Costo Global Especifico "Transmisión"

Tabla 40 Cálculo del costo global especifico del sistema de transmisión

Costo Total	MTTR	Hora de trabajo en un año del equipo (h)	Fórmula	Resultado
$ 246,26	3,81	2680	$C_{GE} = C_{TOTAL} * \left(\frac{1}{30}\right) * MTTR \left(\frac{1}{T_{TRABAJO}}\right)$	0,01167
$ 165,59	3,81			0,007847
$ 1071,31	3,81			0,050767
$ 68,62	3,81			0,003252
$ 24,99	3,81			0,001184
$ 26,97	3,81			0,001278
$ 30,27	3,81			0,001434
$ 107,41	3,81			0,00509
$ 62,5	0,9525			0,00074

5.3.2.1.3 Costo Global Especifico "Dirección"

Tabla 41 Cálculo del costo global especifico del sistema de dirección

Costo Total	MTTR	Hora de trabajo en un año del equipo (h)	Fórmula	Resultado
$ 60,00	3	2680	$C_{GE} = C_{TOTAL} * \left(\frac{1}{30}\right) * MTTR \left(\frac{1}{T_{TRABAJO}}\right)$	0,002239
$ 81,49	3			0,003041

5.3.2.1.4 Costo Global Especifico "Eléctrico"

Tabla 42 Cálculo del costo global especifico del sistema de eléctrico

Costo Total	MTTR	Hora de trabajo en un año del equipo (h)	Fórmula	Resultado
$ 95,13	1,28	2680	$C_{GE} = C_{TOTAL} * \left(\frac{1}{30}\right) * MTTR \left(\frac{1}{T_{TRABAJO}}\right)$	0,001515
$ 50,00	2,56			0,001592
$ 52,86	0,64			0,000463
$ 14,53	2,56			0,000334
$ 42,00	0,64			0,002272
$ 71,36	2,56			0,055121

5.3.2.1.5 Costo Global Especifico "Hidráulico"

Tabla 43 Cálculo del costo global especifico del sistema hidráulico

Costo Total	MTTR	Hora de trabajo en un año del equipo (h)	Fórmula	Resultado
$ 751,14	5,9	2680	$C_{GE} = C_{TOTAL} * \left(\frac{1}{30}\right) * MTTR \left(\frac{1}{T_{TRABAJO}}\right)$	0,055121
$ 287,78	2,95			0,010559
$ 599,33	0,347058824			0,002587
$ 202,016	1,18			0,002965
$ 414,25	1,18			0,00608
$ 1460,7	5,9			0,107191
$ 208,21	2,95			0,00764

5.3.2.1.6 Costo Global Especifico "Chasis y Carrocería"

Tabla 44 Cálculo del costo global especifico del sistema de chasis y carrocería

Costo Total	MTTR	Hora de trabajo en un año del equipo (h)	Fórmula	Resultado
$ 101,06	29,68	2680	$C_{GE} = C_{TOTAL} * \left(\frac{1}{30}\right) * MTTR \left(\frac{1}{T_{TRABAJO}}\right)$	0,037307
$ 94,53	29,68			0,034896
$ 1077,49	29,68			0,39776
$ 250,00	29,68			0,092289
$ 99,18	4,94666667			0,006102
$ 1204,00	29,68			0,444462
$ 831,01	0,618333333			0,006391
$ 24,19	2,47333333			0,000744

5.3.2.2 Indisponibilidad

Siendo la indisponibilidad uno de los principales factores a la hora del mantenimiento, puesto que afecta directamente a la línea de producción con la puesta en disposición de la máquina. Este indicador se asocia a la probabilidad de que una máquina falle fuera del periodo de tiempo establecido dentro del mantenimiento. Su forma de calcular es la siguiente:

$$Indisponibilidad = T_{Fallas} * MTTR \qquad [8]$$

Teniendo así:

T_{Fallas} = Tasa de falla.

$MTTR =$ Mean Time to Repair (tiempo medio de reparación).

MÀQUINA	SISTEMA	ACTIVIDAD	Tasas de Falla	MTTR	Indisponibilidad
MOTONIVELADORA 17 KOMATSU GD-555-11280 AÑO: 2011	MOTOR	CAMBIO DE FILTRO DE COMBUSTIBLE	0,0029851	0,88125	0,002630597
		CAMBIO DE FILTRO RACOR	0,0029851	0,88125	0,002630597
		CAMBIO DE FILTROS DE AIRE P/S	0,0007463	3,525	0,002630597
		REVISIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN	0,0003731	7,05	0,002630597
		ARREGLO FUGA DE COMBUSTIBLE	0,0003731	7,05	0,002630597
		CAMBIO DE BANDA DE VENTILADOR	0,0003731	0	0
		CAMBIO DE ACEITE DE MOTOR	0,0029851	0	0
		CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE MOTOR	0,0029851	0	0
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE MOTOR	0,0007463	0	0
		CAMBIO DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	0,0003731	0	0
		AJUSTE DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	0,0003731	0	0
		REVISIÓN DEL SISTEMA DE ENCENDIDO	0,0003731	0	0
		REVISIÓN DEL MOTOR	0,0029851	0	0
		CALIBRACIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISIÓN Y ESCAPE	0,0003731	0	0
		CAMBIO DE BASES DEL MOTOR	0,0003731	0	0
	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	0,0003731	3,81	0,001421642
		CAMBIO DE ACEITE DEL DIFERENCIAL	0,0003731	3,81	0,001421642
		CAMBIO DE ACEITE DEL TANDEM	0,0003731	3,81	0,001421642
		CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	0,0003731	3,81	0,001421642
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	0,0003731	3,81	0,001421642
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DEL DIFERENCIAL	0,0003731	3,81	0,001421642
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DEL TANDEM	0,0003731	3,81	0,001421642
		CAMBIO DE CRUCETAS DEL CARDÁN	0,0003731	3,81	0,001421642
		REPARACIÓN DE NEUMÁTICO	0,0014925	0,9525	0,001421642
	DIRECCIÓN	CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE DEL ORBITROL	0,0003731	3	0,001119403
		CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE DEL GATO HIDRÁULICO DE LA DIRECCIÓN	0,0003731	3	0,001119403
	ELÉCTRICO	REVISIÓN SISTEMA ELÉCTRICO	0,0007463	1,28	0,000955224
		REVISIÓN DE LUCES	0,0003731	2,56	0,000955224
		CAMBIO DE FOCOS	0,0014925	0,64	0,000955224
		AJUSTE DE NIVEL DE ELECTROLITO EN LA BATERÍA	0,0003731	2,56	0,000955224
		CAMBIO DE FUSIBLES	0,0014925	0,64	0,000955224
		CAMBIO DE CARBONES DE ALTERNADOR	0,0003731	2,56	0,000955224
	HIDRÁULICO	CAMBIO DE ACEITE HIDRÁULICO	0,0003731	5,9	0,002201493
		CAMBIO DE FILTRO HIDRÁULICO	0,0007463	2,95	0,002201493
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE HIDRÁULICO	0,0063433	0,347058824	0,002201493
		REVISIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	0,0018657	1,18	0,002201493
		CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	0,0018657	1,18	0,002201493
		CAMBIO DE KIT DE SELLOS DE GATOS HIDRÁULICOS	0,0003731	5,9	0,002201493
		CAMBIO DE MANGUERA HIDRÁULICA	0,0007463	2,95	0,002201493
	CHASIS Y CARROCERIA	SUELDAS VARIAS	0,0003731	29,68	0,011074627
		EXTRACCIÓN DE PERNOS ROTOS	0,0003731	29,68	0,011074627
		REPARACIÓN DE HOJA VERTEDERA	0,0003731	29,68	0,011074627
		CAMBIO DE BUJES, PINES Y BOCINES	0,0003731	29,68	0,011074627
		CAMBIO DE GRASEROS	0,0022388	4,946666667	0,011074627
		REPARACIÓN DEL ESCARIFICADOR	0,0003731	29,68	0,011074627
		ENGRASADO DEL EQUIPO	0,0179104	0,618333333	0,011074627
		USO DE WIPE	0,0044776	2,473333333	0,011074627

Figura 28 Cálculo de la indisponibilidad

Fuente: Autores

5.3.2.2.1 Indisponibilidad "Motor"

Tabla 45 Cálculo de indisponibilidad del sistema motor

Tasa de Fallas	MTTR	Fórmula	Resultado
0,0029851	0,88125	$Indisponibilidad = T_{Fallas} * MTTR$	0,002630597
0,0029851	0,88125		0,002630597
0,0007463	3,525		0,002630597
0,0003731	7,05		0,002630597
0,0003731	7,05		0,002630597
0,0003731	0		0
0,0029851	0		0
0,0029851	0		0
0,0007463	0		0
0,0003731	0		0
0,0003731	0		0
0,0003731	0		0
0,00029851	0		0
0,0003731	0		0
0,0003731	0		0

5.3.2.2.2 Indisponibilidad “Transmisión”

Tabla 46 Cálculo de indisponibilidad del sistema de transmisión

Tasa de Fallas	MTTR	Fórmula	Resultado
0,0003731	3,81	$Indisponibilidad = T_{Fallas} * MTTR$	0,001421642
0,0003731	3,81		0,001421642
0,0003731	3,81		0,001421642
0,000373	3,81		0,001421642
0,000373	3,81		0,001421642
0,000373	3,81		0,001421642
0,000373	3,81		0,001421642
0,000373	3,81		0,001421642
0,001493	0,9525		0,001421642

5.3.2.2.3 Indisponibilidad “Dirección”

Tabla 47 Cálculo de indisponibilidad del sistema de dirección

Tasa de Fallas	MTTR	Fórmula	Resultado
0,0003731	3	$Indisponibilidad = T_{Fallas} * MTTR$	0,001119403
0,0003731	3		0,001119403

5.3.2.2.4 Indisponibilidad “Eléctrico”

Tabla 48 Cálculo de indisponibilidad del sistema eléctrico

Tasa de Fallas	MTTR	Fórmula	Resultado
0,000746	1,28	$Indisponibilidad = T_{Fallas} * MTTR$	0,000955224
0,0003731	2,56		0,000955224
0,0014925	0,64		0,000955224
0,0003731	2,56		0,000955224
0,0014925	0,64		0,000955224
0,0003731	2,56		0,000955224

5.3.2.2.5 Indisponibilidad “Hidráulico”

Tabla 49 Cálculo de indisponibilidad del sistema hidráulico

Tasa de Fallas	MTTR	Fórmula	Resultado
0,0003731	5,9	$Indisponibilidad = T_{Fallas} * MTTR$	0,002201493
0,0007463	2,95		0,002201493
0,0063433	0,347058824		0,002201493
0,0018657	1,18		0,002201493
0,0018657	1,18		0,002201493
0,0003731	5,9		0,002201493
0,0007463	2,95		0,002201493

5.3.2.2.6 Indisponibilidad "Chasis y Carrocería"

Tabla 50 Cálculo de indisponibilidad del sistema de chasis y carrocería

Tasa de Fallas	MTTR	Fórmula	Resultado
0,0003731	29,68	$Indisponibilidad = T_{Fallas} * MTTR$	0,011074627
0,0003731	29,68		0,011074627
0,0003731	29,68		0,011074627
0,0003731	29,68		0,011074627
0,0022388	4,946666667		0,011074627
0,0003731	29,68		0,011074627
0,0179104	0,618333333		0,011074627
0,0044776	2,473333333		0,011074627

5.3.2.3 Costo Global

El costo global es el producto entre el costo global específico que es el resultado del gasto por mantenimiento y la indisponibilidad siendo el periodo de tiempo en el que el equipo queda fuera de servicio sin que este estuviese dentro del plan de mantenimiento.

$$C_{GLOBAL} = C_{GE} * Indisponibilidad \quad [9]$$

Por ende:

C_{GLOBAL} = Costo Global.

C_{GE} = Costo Global Específico.

MÀQUINA	SISTEMA	ACTIVIDAD	Cge	Indisponibilidad	Cg
MOTONIVELADORA 17 KOMATSU GD-555-11280 AÑO: 2011	MOTOR	CAMBIO DE FILTRO DE COMBUSTIBLE	0,002319858	0,002630597	6,1026E-06
		CAMBIO DE FILTRO RACOR	0,002538745	0,002630597	6,6784E-06
		CAMBIO DE FILTROS DE AIRE P/S	0,010051073	0,002630597	2,644E-05
		REVISIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN	0,003684239	0,002630597	9,6917E-06
		ARREGLO FUGA DE COMBUSTIBLE	0,007014925	0,002630597	1,8453E-05
		CAMBIO DE BANDA DE VENTILADOR	0	0	0
		CAMBIO DE ACEITE DE MOTOR	0	0	0
		CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE MOTOR	0	0	0
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE MOTOR	0	0	0
		CAMBIO DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	0	0	0
		AJUSTE DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	0	0	0
		REVISIÓN DEL SISTEMA DE ENCENDIDO	0	0	0
		REVISIÓN DEL MOTOR	0	0	0
		CALIBRACIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISIÓN Y ESCAPE	0	0	0
		CAMBIO DE BASES DEL MOTOR	0	0	0
	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	0,011669784	0,001421642	1,659E-05
		CAMBIO DE ACEITE DEL DIFERENCIAL	0,007846989	0,001421642	1,1156E-05
		CAMBIO DE ACEITE DEL TANDEM	0,050767302	0,001421642	7,2173E-05
		CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	0,003251769	0,001421642	4,6229E-06
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	0,001184228	0,001421642	1,6835E-06
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DEL DIFERENCIAL	0,001278056	0,001421642	1,8169E-06
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DEL TANDEM	0,001434437	0,001421642	2,0393E-06
		CAMBIO DE CRUCETAS DEL CARDÁN	0,005089951	0,001421642	7,2361E-06
		REPARACIÓN DE NEUMÁTICO	0,000740438	0,001421642	1,0526E-06
	DIRECCIÓN	CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE DEL ORBITROL	0,002238806	0,001119403	2,5061E-06
		CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE DEL GATO HIDRÁULICO DE LA DIRECCIÓN	0,003040672	0,001119403	3,4037E-06
	ELÉCTRICO	REVISIÓN SISTEMA ELÉCTRICO	0,001514507	0,000955224	1,4467E-06
		REVISIÓN DE LUCES	0,00159204	0,000955224	1,5208E-06
		CAMBIO DE FOCOS	0,000420776	0,000955224	4,0194E-07
		AJUSTE DE NIVEL DE ELECTROLITO EN LA BATERÍA	0,000462647	0,000955224	4,4193E-07
		CAMBIO DE FUSIBLES	0,000334328	0,000955224	3,1936E-07
		CAMBIO DE CARBONES DE ALTERNADOR	0,002272159	0,000955224	2,1704E-06
	HIDRÁULICO	CAMBIO DE ACEITE HIDRÁULICO	0,05512097	0,002201493	0,00012135
		CAMBIO DE FILTRO HIDRÁULICO	0,010559092	0,002201493	2,3246E-05
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE HIDRÁULICO	0,002587099	0,002201493	5,6955E-06
		REVISIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	0,002964911	0,002201493	6,5272E-06
		CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	0,006079789	0,002201493	1,3385E-05
		CAMBIO DE KIT DE SELLOS DE GATOS HIDRÁULICOS	0,107190672	0,002201493	0,00023598
		CAMBIO DE MANGUERA HIDRÁULICA	0,007639546	0,002201493	1,6818E-05
	CHASIS Y CARROCERIA	SUELDAS VARIAS	0,037306726	0,011074627	0,00041316
		EXTRACCIÓN DE PERNOS ROTOS	0,034896149	0,011074627	0,00038646
		REPARACIÓN DE HOJA VERTEDERA	0,39775999	0,011074627	0,00440504
		CAMBIO DE BUJES, PINES Y BOCINES	0,092288557	0,011074627	0,00102206
		CAMBIO DE GRASEROS	0,006102119	0,011074627	6,7579E-05
		REPARACIÓN DEL ESCARIFICADOR	0,444461692	0,011074627	0,00492225
		ENGRASADO DEL EQUIPO	0,006391059	0,011074627	7,0779E-05
		USO DE WIPE	0,000744153	0,011074627	8,2412E-06

Figura 29 Cálculo del costo global

Fuente: Autores

5.3.2.3.1 Costo Global "Motor"

Tabla 51 Cálculo del costo global del sistema de motor

Costo Global Especifico	Indisponibilidad	Fórmula	Resultado
0,002319858	0,002630597	$C_{GLOBAL} = C_{GE} * Indisponibilidad$	0,0000061026
0,002538745	0,002630597		0,0000066784
0,010051073	0,002630597		0,00002644
0,003684239	0,002630597		0,0000096917
0,007014925	0,002630597		0,000018453
0	0		0
0	0		0
0	0		0
0	0		0
0	0		0
0	0		0
0	0		0
0	0		0
0	0		0
0	0		0

5.3.2.3.2 Costo Global "Transmisión"

Tabla 52 Cálculo del costo global del sistema de transmisión

Costo Global Especifico	Indisponibilidad	Fórmula	Resultado
0,011669784	0,001421642	$C_{GLOBAL} = C_{GE} * Indisponibilidad$	0,00001659
0,007846989	0,001421642		0,000011156
0,050767302	0,001421642		0,000072173
0,003251769	0,001421642		0,0000046229
0,0011184228	0,001421642		0,0000016835
0,001278056	0,001421642		0,0000018169
0,001434437	0,001421642		0,0000020393
0,005089951	0,001421642		0,0000072361
0,000740438	0,001421642		0,0000010526

5.3.2.3.3 Costo Global "Dirección"

Tabla 53 Cálculo del costo global del sistema de dirección

Costo Global Especifico	Indisponibilidad	Fórmula	Resultado
0,002238806	0,001119403	$C_{GLOBAL} = C_{GE} * Indisponibilidad$	0,0000025061
0,009040672	0,001119403		0,0000034037

5.3.2.3.4 Costo Global "Eléctrico"

Tabla 54 Cálculo del costo global del sistema eléctrico

Costo Global Especifico	Indisponibilidad	Fórmula	Resultado
0,001514507	0,000955224	$C_{GLOBAL} = C_{GE} * Indisponibilidad$	0,0000014467
0,00159204	0,000955224		0,0000015208
0,000420776	0,000955224		0,00000040194
0,000462647	0,000955224		0,00000040194
0,000334328	0,000955224		0,00000031936
0,002272159	0,000955224		0,0000021704

5.3.2.3.5 Costo Global "Hidráulico"

Tabla 55 Cálculo del costo global del sistema hidráulico

Costo Global Especifico	Indisponibilidad	Fórmula	Resultado
0,05512097	0,002201493	$C_{GLOBAL} = C_{GE} * Indisponibilidad$	0,00012135
0,010559092	0,002201493		0,000023246
0,002587099	0,002201493		0,0000056955
0,002964911	0,002201493		0,0000065272
0,006079789	0,002201493		0,000013385
0,107190672	0,002201493		0,00023598
0,007639546	0,002201493		0,000016818

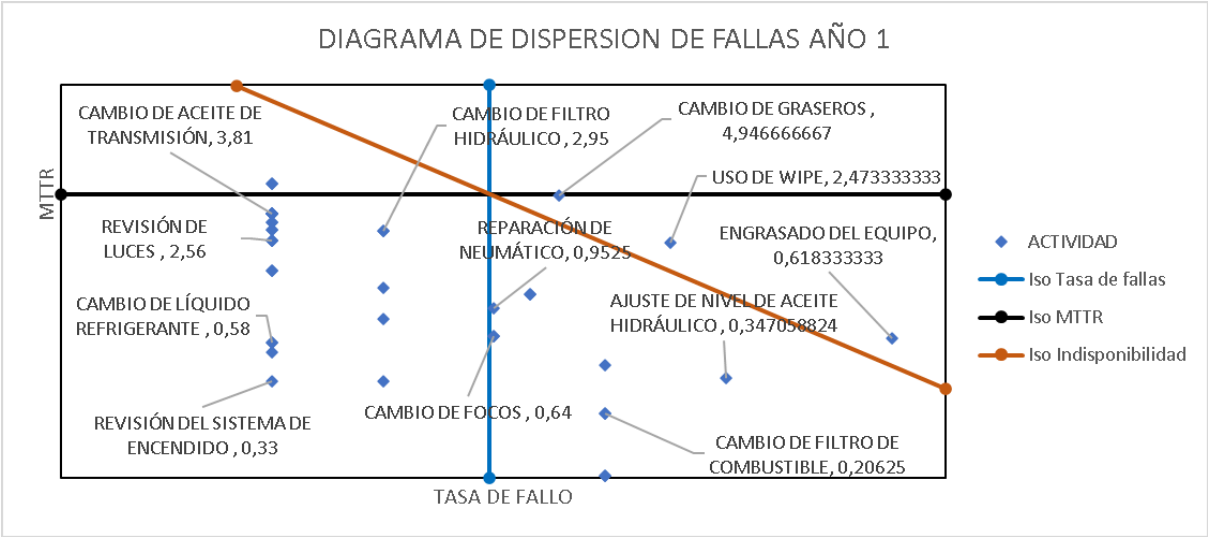
5.3.2.3.6 Costo Global "Chasis y Carrocería"

Tabla 56 Cálculo del costo global del sistema de chasis y carrocería

Costo Global Especifico	Indisponibilidad	Fórmula	Resultado
0,037306726	0,011074627	$C_{GLOBAL} = C_{GE} * Indisponibilidad$	0,00041316
0,034896149	0,011074627		0,00038646
0,39775999	0,011074627		0,00440504
0,092288557	0,011074627		0,00102206
0,006102119	0,011074627		0,000067579
0,444461692	0,011074627		0,0000492225
0,006391059	0,011074627		0,000070779
0,000744153	0,011074627		0,0000082412

5.3.3 Gráfica de Indicadores

Los resultados del cálculo aplicando el método Jack Knife sobre los equipos da como resultados indicadores gráficos que otorgan una variedad de criterios que se pudiese llegar a tener sobre las fallas y costos, hallando soluciones optimas y viables sobre los elementos más críticos.



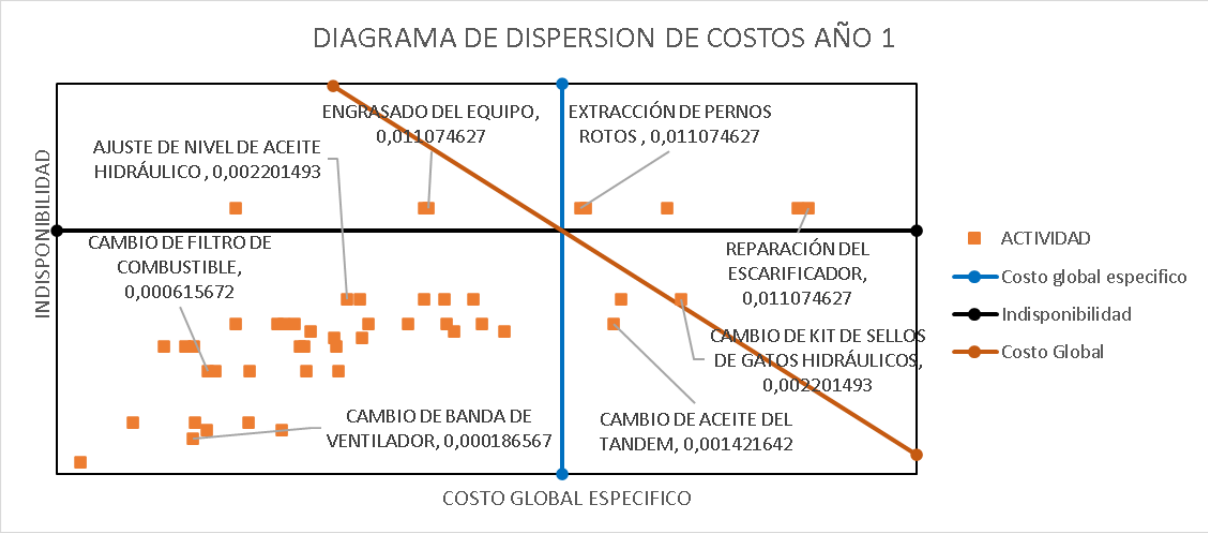


Figura 30 Gráficas de Fallas y Costos aplicando el Método Jack Knife

Fuente: Autores

Ubicación de los elementos tanto de fallas como de costos dando una perspectiva indicando la criticidad de cada actividad y su riesgo frente a factores que priorizan el correcto funcionamiento de la máquina analizada.

5.3.4 Gráfica de Fallas

En el gráfico correspondiente a las fallas de la máquina, se deben tomar en cuenta los siguientes indicadores:

5.3.4.1 Iso Tasa de fallas

El indicador de tasa de fallas indica la frecuencia con la que falla una máquina, de forma gráfica según la actividad que se haya desarrollado; la forma de obtención es mediante el promedio de los valores de la tasa de fallas de la máquina a lo largo del año.

Gráfico fallas		
	x	y
Iso Tasa de fallas	0,001453	0,08
	0,001453	25

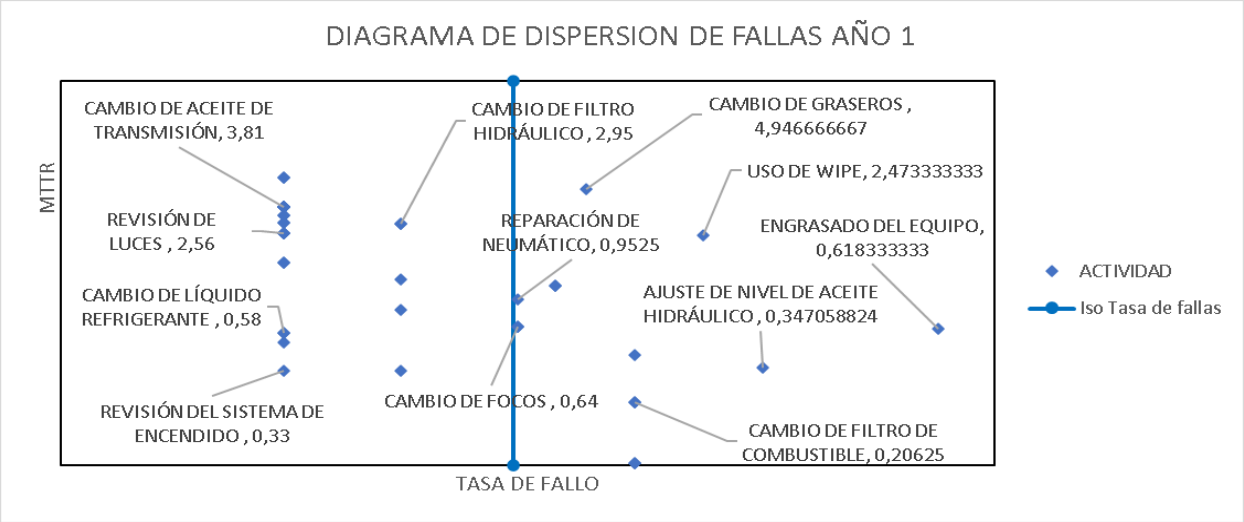


Figura 31 Tabla de Gráfico de Fallas (Iso Tasa de Fallas)

Fuente: Autores

En la tabla que se muestra en la figura 36 existen dos valores que sirven para proyectar los puntos por parte de “x” y el “y”, los valores son los limites aleatorios que marcaran los valores de las actividades.

5.3.4.2 Iso MTTR

El eje de las abscisas es donde se localiza el indicador MTTR (Mean Time to Repair “tiempo medio de reparación”), este indica el lapso de tiempo que tomará la actividad en ser solucionada y por ende la máquina permanecerá inactiva en la línea de producción.

Gráfico fallas		
	x	y
Iso MTTR	0,0001	5,18947643
	0,025	5,18947643

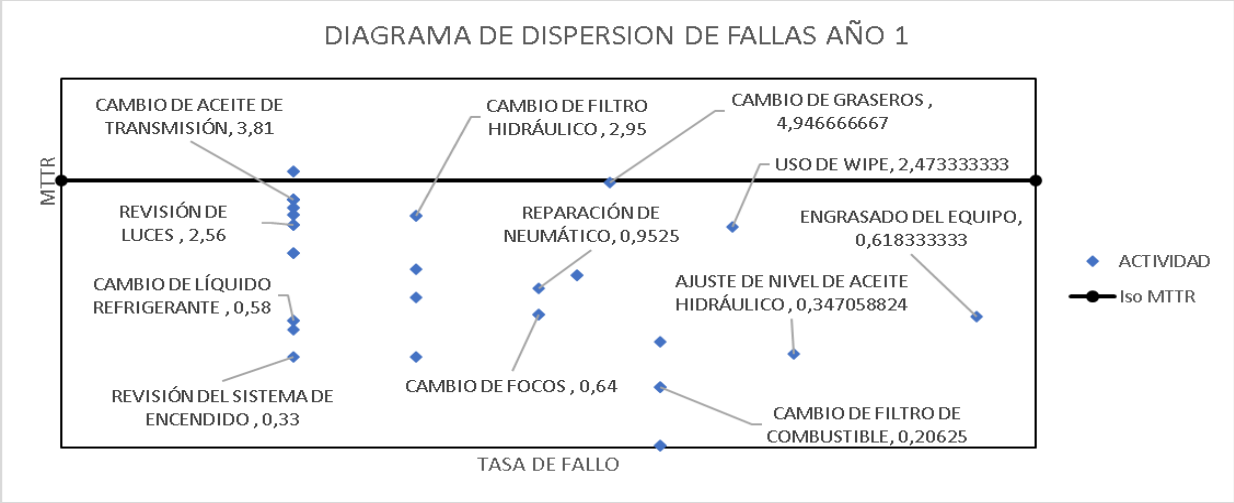


Figura 32 Tabla de Gráfico de Fallas (Iso MTTR)

Fuente: Autores

El factor MTTR es el que posiciona el límite que ocuparan las actividades según su grado critico dentro del gráfico ocupando el eje de las abscisas.

5.3.4.3 Iso Indisponibilidad

La indisponibilidad es la responsable en relucir actividades de inoperancia de la máquina, siendo dentro de los factores el de mayor importancia e impacto para la óptima producción.

Gráfico fallas		
	x	y
Iso Indisponibilidad	0,025	0,30157961
	0,0003	25,131634

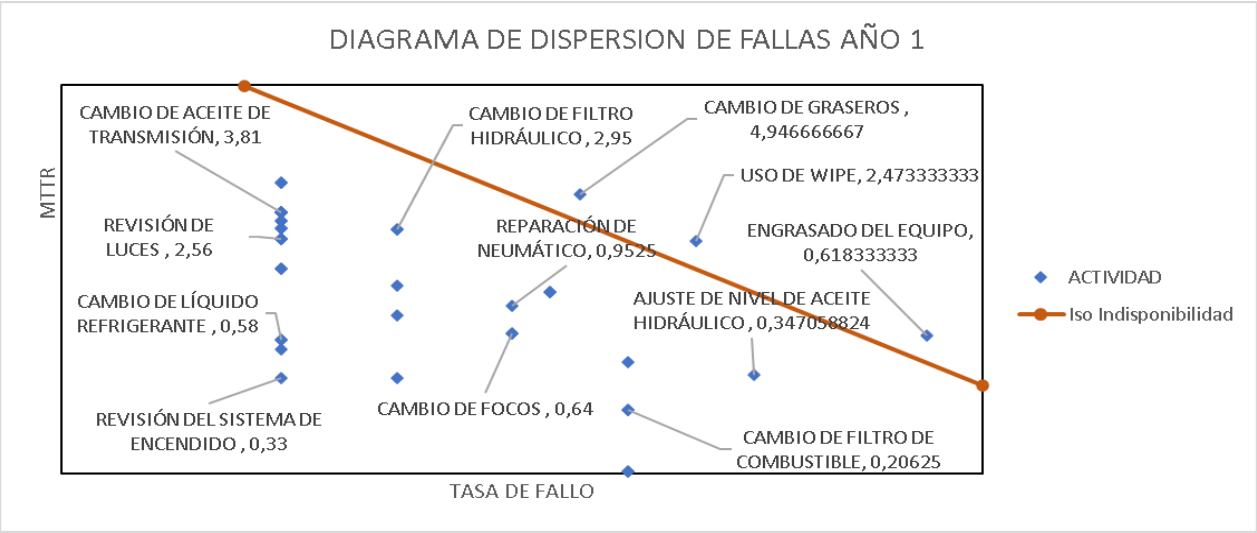


Figura 33 Tabla de gráfica de fallas (Iso indisponibilidad)

Fuente: Autores

Mientras la actividad se ubique más cercana a la pendiente se considera que es la responsable de que la máquina lleve más tiempo inoperable, mientras la actividad sea solucionada.

5.3.5 Gráfico de costos

Dentro del análisis el inciso para el gráfico de costos se debe tomar en cuenta los siguientes indicadores:

5.3.5.1 Costo Global Especifico

Por parte del análisis de costos según el método Jack Knife, el costo global especifico representan el costo individual de los insumos que se requieren para la solución del inconveniente dentro de los sistemas de la máquina.

Gráfico costos		
	x	y
Costo global especifico	0,0283583	0,0001
	0,0283583	0,1

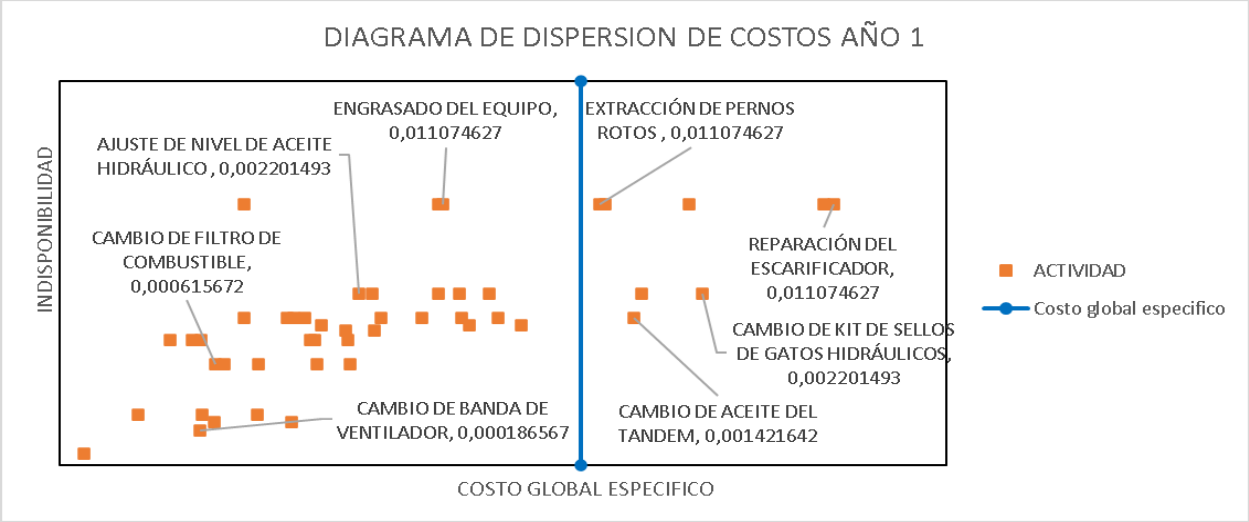


Figura 34 Tabla de gráfico de costos (Costo Global Especifico)

Fuente: Autores

El resultado es el consumo desequilibrado del capital destinado al mantenimiento en comparación a las demás actividades.

5.3.5.2 Indisponibilidad

Gráfico costos		
	x	y
Indisponibilidad	0,0001	0,7539%
	1,5	0,7539%

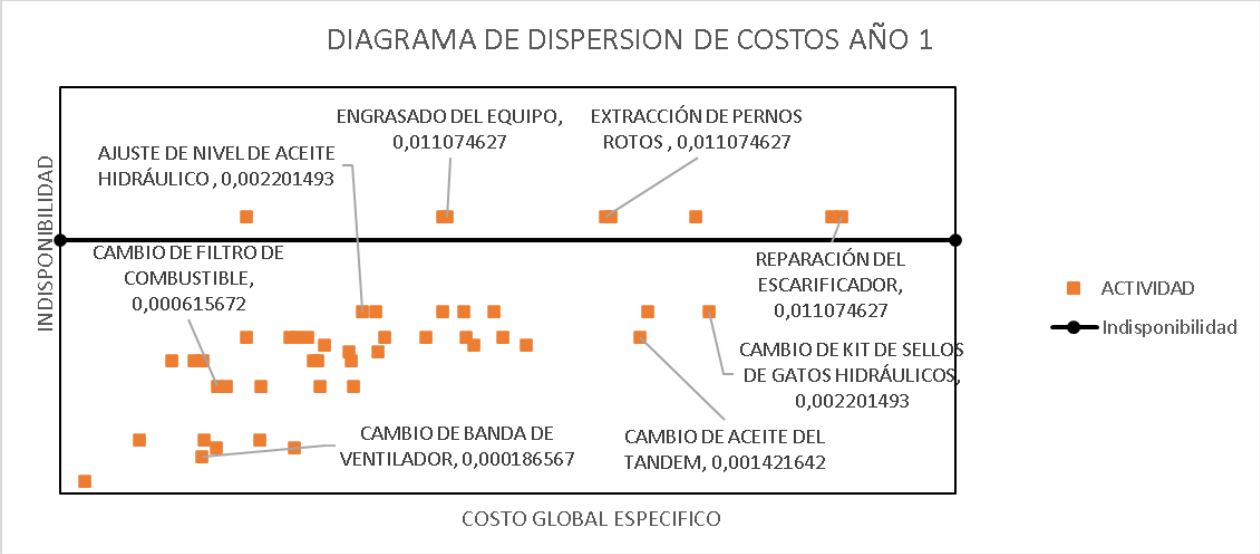


Figura 35 Tabla de gráfico de costos (Indisponibilidad)

Fuente: Autores

Las actividades que se encuentren adyacentes al eje de las ordenadas son actividades por las cuales la máquina se ve obligada a permanecer en modo de detención, dando, así como resultado una producción frenada.

5.3.5.3 Costo Global

Gráfico costos		
	x	y
Costo Global	0,0022	0,09718507
	1,5	0,00014254

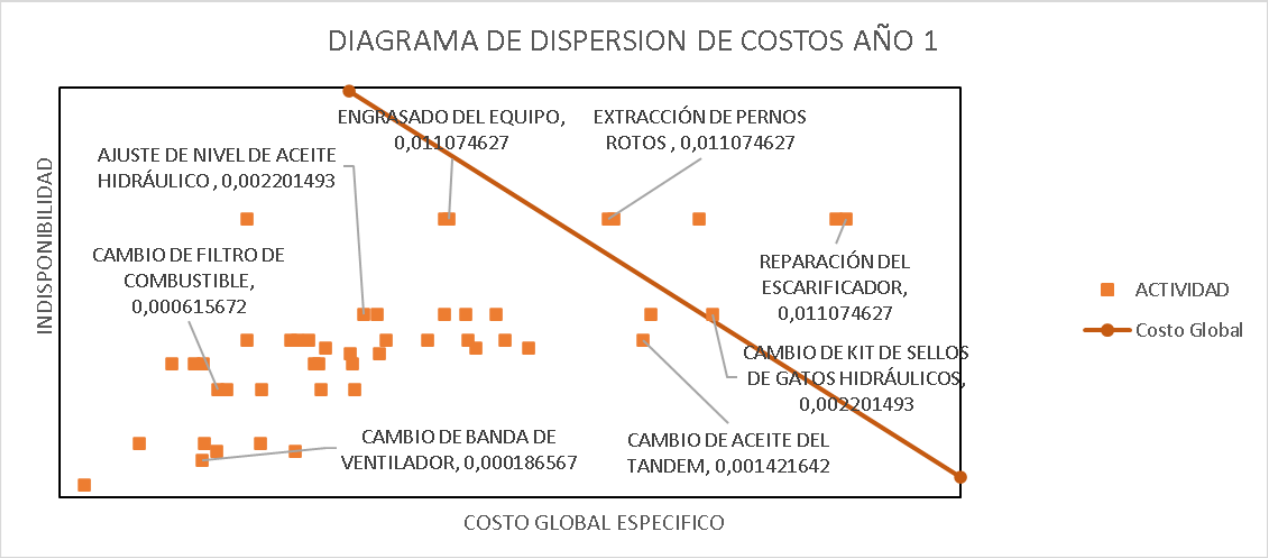


Figura 36 Tabla de gráfico de costos (Costo Global)

Fuente: Autores

Las actividades que son cercanas a esta pendiente son las que representan un gasto exorbitante directo al capital destinado al mantenimiento de los equipos. A diferencia del costo global especifico, en el costo global se toman en cuenta los demás factores.

5.4 Aplicación del Método Jack Knife sobre las Máquinas

En resumen, la aplicación del método en las distintas máquinas existentes, denotando los indicadores de importancia.

5.4.1 Cargadora CATERPILLAR 950G

MÀQUINA	SISTEMA	ACTIVIDAD	Total de Fallas	Tasas de Falla	MTTR	Cge	Indisponibilidad	Cg
CARGADORA 14 CATERPILLAR 950G AÑO: 1999	MOTOR	CAMBIO DE FILTRO DE COMBUSTIBLE	45	0,002239	1,175	0,002121869	0,002630597	5,58178E-06
		CAMBIO DE FILTRO RACOR	0	0,002239	1,175	0,003608741	0,002630597	9,49314E-06
		CAMBIO DE FILTROS DE AIRE P/S	0	0,000746	3,525	0,008963321	0,002630597	2,35789E-05
		REVISIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN	0	0,000373	7,05	0,003684239	0,002630597	9,69175E-06
		ARREGLO FUGA DE COMBUSTIBLE	0	0,000373	7,05	0,007014925	0,002630597	1,84534E-05
		CAMBIO DE BANDA DE VENTILADOR	0	0,000373	0	0	0	0
		CAMBIO DE ACEITE DE MOTOR	0	0,002239	0	0	0	0
		CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE MOTOR	0	0,002239	0	0	0	0
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE MOTOR	0	0,001866	0	0	0	0
		CAMBIO DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	0	0,000373	0	0	0	0
		AJUSTE DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	0	0,000373	0	0	0	0
		REVISIÓN DEL SISTEMA DE ENCENDIDO	0	0,000373	0	0	0	0
		REVISIÓN DEL MOTOR	0	0,002239	0	0	0	0
		CALIBRACIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISIÓN Y ESCAPE	0	0,000373	0	0	0	0
		CAMBIO DE BASES DEL MOTOR	0	0,000373	0	0	0	0
	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	12	0,000373	2,22	0,023179672	0,000828358	1,92011E-05
		CAMBIO DE ACEITE DEL DIFERENCIAL	0	0,000373	2,22	0,016567164	0,000828358	1,37235E-05
		CAMBIO DE ACEITE DE MANDOS FINALES	0	0,000373	2,22	0,002590552	0,000828358	2,14591E-06
		CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	0	0,000373	2,22	0,001368724	0,000828358	1,13379E-06
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	0	0,000373	2,22	0,000796881	0,000828358	6,60103E-07
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DEL DIFERENCIAL	0	0,000373	2,22	0,000796881	0,000828358	6,60103E-07
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE MANDOS FINALES	0	0,000373	2,22	0,000796881	0,000828358	6,60103E-07
		CAMBIO DE CRUCETAS DEL CARDÁN	0	0,000373	2,22	0,00877259	0,000828358	7,26685E-06
		REPARACIÓN DE NEUMÁTICO	0	0,001493	0,555	0,000431437	0,000828358	3,57384E-07
	DIRECCIÓN	CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE DEL ORBITROL	2	0,000373	3	0,002238806	0,001119403	2,50613E-06
		CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE DEL GATO HIDRÁULICO DE LA DIRECCIÓN	0	0,000373	3	0,004104478	0,001119403	4,59456E-06
	ELÉCTRICO	REVISIÓN SISTEMA ELÉCTRICO	13	0,000746	1,28	0,001514507	0,000955224	1,44669E-06
		REVISIÓN DE LUCES	0	0,000373	2,56	0,00159204	0,000955224	1,52075E-06
		CAMBIO DE FOCOS	0	0,001493	0,64	0,000477612	0,000955224	4,56226E-07
		AJUSTE DE NIVEL DE ELECTROLITO EN LA BATERÍA	0	0,000373	2,56	0,000390368	0,000955224	3,72889E-07
		CAMBIO DE FUSIBLES	0	0,001493	0,64	0,000334328	0,000955224	3,19358E-07
		CAMBIO DE CARBONES DE ALTERNADOR	0	0,000373	2,56	0,002011701	0,000955224	1,92163E-06
	HIDRÁULICO	CAMBIO DE ACEITE HIDRÁULICO	26	0,000373	5,9	0,060638644	0,002201493	0,000133496
		CAMBIO DE FILTRO HIDRÁULICO	0	0,000373	5,9	0,004364826	0,002201493	9,60913E-06
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE HIDRÁULICO	0	0,003731	0,59	0,003347443	0,002201493	7,36937E-06
		REVISIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	0	0,001866	1,18	0,002964911	0,002201493	6,52723E-06
		CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	0	0,001866	1,18	0,011007463	0,002201493	2,42328E-05
		CAMBIO DE KIT DE SELLOS DE GATOS HIDRÁULICOS	0	0,000746	2,95	0,016878109	0,002201493	3,7157E-05
		CAMBIO DE MANGUERA HIDRÁULICA	0	0,000746	2,95	0,005111499	0,002201493	1,12529E-05
	CHASIS Y CARROCERIA	SUELDAS VARIAS	69	0,000373	30,84	0,02684691	0,011507463	0,00030894
		EXTRACCIÓN DE PERNOS ROTOS	0	0,000373	30,84	0,036260015	0,011507463	0,000417261
		REPARACIÓN DE PALA	0	0,000373	30,84	0,405208448	0,011507463	0,004662921
		CAMBIO DE BUJES, PINES Y BOCINES	0	0,000373	30,84	0,095895522	0,011507463	0,001103514
		CAMBIO DE GRASEROS	0	0,001493	7,71	0,008353459	0,011507463	9,61271E-05
		CAMBIO DE PLUMAS LIMPIAPARABRISAS	0	0,000373	30,84	0,00432297	0,011507463	4,97464E-05
		ENGRASADO DEL EQUIPO	0	0,01791	0,6425	0,006640845	0,011507463	7,64193E-05
		USO DE WIPE	0	0,004478	2,57	0,000773238	0,011507463	8,898E-06

Figura 37 Cargadora CATERPILLAR empleando el método Jack Knife

Fuente: Autores

5.4.2 Tractor CATERPILLAR D7R

MÀQUINA	SISTEMA	ACTIVIDAD	Total de Fallas	Tasas de Falla	MTTR	Cge	Indisponibilidad	Cg
TRACTOR 25 CATERPILLAR D7R AÑO: 1999	MOTOR	CAMBIO DE FILTRO DE COMBUSTIBLE	19	0,00298507	0,165	0,00034178	0,000492537	1,68339E-07
		CAMBIO DE FILTRO RACOR	0	0,00298507	0,165	0,000482502	0,000492537	2,3765E-07
		CAMBIO DE FILTROS DE AIRE P/S	0	0,00074627	0,66	0,002705015	0,000492537	1,33232E-06
		ARREGLO FUGA DE COMBUSTIBLE	0	0,00037313	1,32	0,001313433	0,000492537	6,46915E-07
		CAMBIO DE BANDA DE VENTILADOR	1	0,00037313	0,5	0,00120398	0,000186567	2,24623E-07
		CAMBIO DE ACEITE DE MOTOR	17	0,00298507	0,0825	0,001496913	0,000246269	3,68643E-07
		CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE MOTOR	0	0,00298507	0,0825	0,000160916	0,000246269	3,96286E-08
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE MOTOR	0	0,00037313	0,66	0,000207522	0,000246269	5,11063E-08
		CAMBIO DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	2	0,00037313	0,58	0,000697371	0,000216418	1,50923E-07
		AJUSTE DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	0	0,00037313	0,58	0,000164766	0,000216418	3,56584E-08
		REVISIÓN DEL SISTEMA DE ENCENDIDO	1	0,00037313	0,33	0,000164179	0,000123134	2,02161E-08
		REVISIÓN DEL MOTOR	9	0,00298507	0,16625	0,000682369	0,000496269	3,38639E-07
		CALIBRACIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISIÓN Y ESCAPE	0	0,00037313	1,33	0,002507811	0,000496269	1,24455E-06
	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	12	0,00037313	41,9	0,128670522	0,015634328	0,002011677
		CAMBIO DE ACEITE DE MANDOS FINALES	0	0,00037313	41,9	0,102284988	0,015634328	0,001599157
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	0	0,00186567	8,38	0,03056407	0,015634328	0,000477849
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE MANDOS FINALES	0	0,00074627	20,95	0,015775037	0,015634328	0,000246632
		REPARACIÓN DE LA TRANSMISIÓN	0	0,00037313	41,9	0,104228856	0,015634328	0,001629548
		REPARACIÓN DE MANDOS FINALES	0	0,00037313	41,9	0,114651741	0,015634328	0,001792503
		REPARACIÓN DE TREN DE RODAJE	0	0,00037313	41,9	0,338743781	0,015634328	0,005296032
		CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	1	0,00037313	0,08	4,37313E-05	2,98507E-05	1,30541E-09
	ELÉCTRICO	REVISIÓN SISTEMA ELÉCTRICO	7	0,00037313	1,4	0,000791766	0,000522388	4,13609E-07
		REVISIÓN DE LUCES	0	0,00037313	1,4	0,000870647	0,000522388	4,54815E-07
		CAMBIO DE FOCOS	0	0,00149254	0,35	0,000242954	0,000522388	1,26916E-07
		AJUSTE DE NIVEL DE ELECTROLITO EN LA BATERÍA	0	0,00037313	1,4	0,000233682	0,000522388	1,22072E-07
	HIDRÁULICO	CAMBIO DE ACEITE HIDRÁULICO	19	0,00037313	5,74	0,047787642	0,002141791	0,000102351
		CAMBIO DE FILTRO HIDRÁULICO	0	0,00074627	2,87	0,003885209	0,002141791	8,32131E-06
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE HIDRÁULICO	0	0,00298507	0,7175	0,005348231	0,002141791	1,14548E-05
		CAMBIO DE KIT DE SELLOS DE GATOS HIDRÁULICOS	0	0,00037313	5,74	0,018737102	0,002141791	4,0131E-05
		CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	0	0,00186567	1,148	0,007541103	0,002141791	1,61515E-05
		CAMBIO DE MANGUERA HIDRÁULICA	0	0,00074627	2,87	0,005475489	0,002141791	1,17274E-05
	CHASIS Y CARROCERIA	SUELDAS VARIAS	69	0,00037313	29,68	0,039791134	0,011074627	0,000440672
		EXTRACCIÓN DE PERNOS ROTOS	0	0,00037313	29,68	0,025840796	0,011074627	0,000286177
		REPARACIÓN DE HOJA VERTEDERA	0	0,00037313	29,68	0,535306856	0,011074627	0,005928324
		REPARACIÓN DEL ESCARIFICADOR	0	0,00037313	29,68	0,616111025	0,011074627	0,0068232
		CAMBIO DE BUJES, PINES Y BOCINES	0	0,00037313	29,68	0,221492537	0,011074627	0,002452947
		CAMBIO DE GRASEROS	0	0,00149254	7,42	0,008039256	0,011074627	8,90318E-05
		ENGRASADO DEL EQUIPO	0	0,01791045	0,618333333	0,006391059	0,011074627	7,07786E-05
		USO DE WIPE	0	0,00447761	2,473333333	0,00074723	0,011074627	8,27529E-06

Figura 38 Tractor CATERPILLAR empleando el método Jack Knife

Fuente: Autores

5.4.3 Excavadora KOMATSU PC-200 LC-8

MÀQUINA	SISTEMA	ACTIVIDAD	Total de Fallas	Tasas de Falla	MTTR	Cge	Indisponibilidad	Cg
EXCAVADORA 3 KOMATSU PC 200 LC-8 AÑO: 2008	MOTOR	CAMBIO DE FILTRO DE COMBUSTIBLE	14	0,00186567	0,328	0,002071173	0,00061194	1,26743E-06
		CAMBIO DE FILTRO RACOR	0	0,00186567	0,328	0,001235589	0,00061194	7,56107E-07
		CAMBIO DE FILTROS DE AIRE P/S	0	0,00037313	1,64	0,002919975	0,00061194	1,78685E-06
		CAMBIO DE FILTRO DEL RESPIRADERO	0	0,00037313	1,64	0,001112915	0,00061194	6,81038E-07
		CAMBIO DE FILTRO DE AIRE ACONDICIONADO	0	0,00037313	1,64	0,0010199	0,00061194	6,24118E-07
		ARREGLO FUGA DE COMBUSTIBLE	0	0,00037313	1,64	0,001631841	0,00061194	9,98589E-07
		CAMBIO DE BANDA DE VENTILADOR	1	0,00037313	0,5	0,000578669	0,000186567	1,07961E-07
		CAMBIO DE ACEITE DE MOTOR	11	0,00186567	0,132	0,001154737	0,000246269	2,84376E-07
		CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE MOTOR	0	0,00186567	0,132	0,000225533	0,000246269	5,55417E-08
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE MOTOR	0	0,00037313	0,66	0,000386231	0,000246269	9,51167E-08
		CAMBIO DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	2	0,00037313	0,58	0,001237117	0,000216418	2,67734E-07
		AJUSTE DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	0	0,00037313	0,58	0,000114413	0,000216418	2,4761E-08
		REVISIÓN DEL SISTEMA DE ENCENDIDO	1	0,00037313	0,33	0,000164179	0,000123134	2,02161E-08
		REVISIÓN DEL MOTOR	2	0,00037313	1,33	0,000827114	0,000496269	4,10471E-07
		CALIBRACIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISIÓN Y ESCAPE	0	0,00037313	1,33	0,002507811	0,000496269	1,24455E-06
	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE ACEITE DE MANDOS FINALES	7	0,00037313	39,14	0,067779381	0,014604478	0,000989882
		REVISIÓN DE MANDOS FINALES	0	0,00037313	39,14	0,020454058	0,014604478	0,000298721
		REVISIÓN DEL TREN DE RODAJE	0	0,00037313	39,14	0,020454058	0,014604478	0,000298721
		REVISIÓN DE TEMPLADORES DE CADENA	0	0,00037313	39,14	0,020454058	0,014604478	0,000298721
		ARREGLO DEL TEMPLADOR DE CADENA	0	0,00037313	39,14	0,272616915	0,014604478	0,003981428
		ARREGLO DE FUGA DE ACEITE DE MANDOS FINALES	0	0,00037313	39,14	0,087626866	0,014604478	0,001279745
		REPARACIÓN DE TREN DE RODAJE	0	0,00037313	39,14	0,632860697	0,014604478	0,0092426
	ELÉCTRICO	REVISIÓN SISTEMA ELÉCTRICO	7	0,00037313	1,4	0,000870647	0,000522388	4,54815E-07
		REVISIÓN DE LUCES	0	0,00037313	1,4	0,000870647	0,000522388	4,54815E-07
		CAMBIO DE FOCOS	0	0,00149254	0,35	0,000261194	0,000522388	1,36445E-07
		AJUSTE DE NIVEL DE ELECTROLITO EN LA BATERÍA	0	0,00037313	1,4	0,000213483	0,000522388	1,11521E-07
	HIDRÁULICO	CAMBIO DE ACEITE HIDRÁULICO	27	0,00037313	5,15	0,054856468	0,001921642	0,000105414
		CAMBIO DE FILTRO HIDRÁULICO	0	0,00037313	5,15	0,011702799	0,001921642	2,24886E-05
		AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE HIDRÁULICO	0	0,00261194	0,735714286	0,005529021	0,001921642	1,06248E-05
		REVISIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	0	0,00037313	5,15	0,002691323	0,001921642	5,17176E-06
		CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	0	0,00373134	0,515	0,009608209	0,001921642	1,84635E-05
		CAMBIO DE ACEITE DEL MOTOR DE GIRO	0	0,00037313	5,15	0,004163557	0,001921642	8,00087E-06
		CAMBIO DE MANGUERA HIDRÁULICA	0	0,00223881	0,858333333	0,0076776	0,001921642	1,47536E-05
	CHASIS Y CARROCERIA	SUELDAS VARIAS	68	0,00037313	39,34	0,058716418	0,014679104	0,000861904
		EXTRACCIÓN DE PERNOS ROTOS	0	0,00037313	39,34	0,034251244	0,014679104	0,000502778
		COLOCACIÓN DE REFUERZO DEL CUCHARÓN	0	0,00037313	39,34	0,171256219	0,014679104	0,002513888
		REPARACIÓN DEL CUCHARÓN	0	0,00037313	39,34	2,904153174	0,014679104	0,042630368
		CAMBIO DE PUNTAS, ADAPTADORES Y PASADORES DEL CUCHARÓN	0	0,00074627	19,67	0,653203024	0,014679104	0,009588435
		CAMBIO DE BUJES, PINES Y BOCINES	0	0,00037313	39,34	0,29358209	0,014679104	0,004309522
		CAMBIO DE GRASEROS	0	0,00149254	9,835	0,010655807	0,014679104	0,000156418
		CAMBIO DE PLUMAS LIMPIAPARABRISAS	0	0,00037313	39,34	0,00551445	0,014679104	8,09472E-05
		ENGRASADO DEL EQUIPO	0	0,01791045	0,819583333	0,008471168	0,014679104	0,000124349
		USO DE WIPE	0	0,00298507	4,9175	0,000308261	0,014679104	4,525E-06

Figura 39 Excavadora KOMATSU empleando el método Jack Knife

Fuente: Autores

CAPÍTULO III

Introducción

En el presente capitulo se tratará de la puesta en marcha de la programación de la herramienta informática que implemente el método de dispersión logarítmica Jack Knife a equipos pertenecientes a la flota de transporte. Se detallarán líneas de código y su orden para la puesta en marcha de los mismos.

6 Introducción de Microsoft Visual Basic para Aplicaciones

Microsoft Visual Basic es una ventana externa de Microsoft Excel que permite combinar el lenguaje de programación con una hoja de cálculo dado como resultado amalgamas de aplicaciones que permiten desarrollar aplicaciones con diferentes funcionalidades.

Esta aplicación cuenta con dos modos de uso: en modo diseño y en modo ejecución. En el modo diseño permite crear formularios en los cuales se pueden agregar distintos tipos de controles los cuales pueden ser elanzados con Microsoft Excel mediante Macros.

En modo de ejecución el usuario puede probar los formularios que haya diseñado y a su vez pueda ver las fallas que tenga en su programación y así corregirlas para tener una óptima funcionalidad del programa.

6.1 Programación de una Herramienta Informática

Para la fase final del proyecto se procedió a realizar una herramienta informática que servirá para calcular de una manera veraz los cálculos necesarios para el desarrollo del método Jack Knife en el equipo a evaluar.

6.2 Diseño de la Plantilla del Programa

Para el diseño de esta plantilla se ideo hacer una hoja de Excel actualizable la cual permite calcular de manera inmediata los parámetros necesarios para realizar el diagrama de dispersión logarítmicas tanto de fallas como de costos.

6.3 Diseño del Botón Menú

Figura 40 Diseño del botón MENÚ

Fuente: Autores

El botón menú se los coloco en la parte superior de la plantilla el cual al ser pulsado se emergerá una ventana la cual costa de cuatro botones que el usuario podrá elegir hacia dónde dirigirse.

Figura 41 Interfaz del menú (Análisis de fallas)

Fuente: Autores

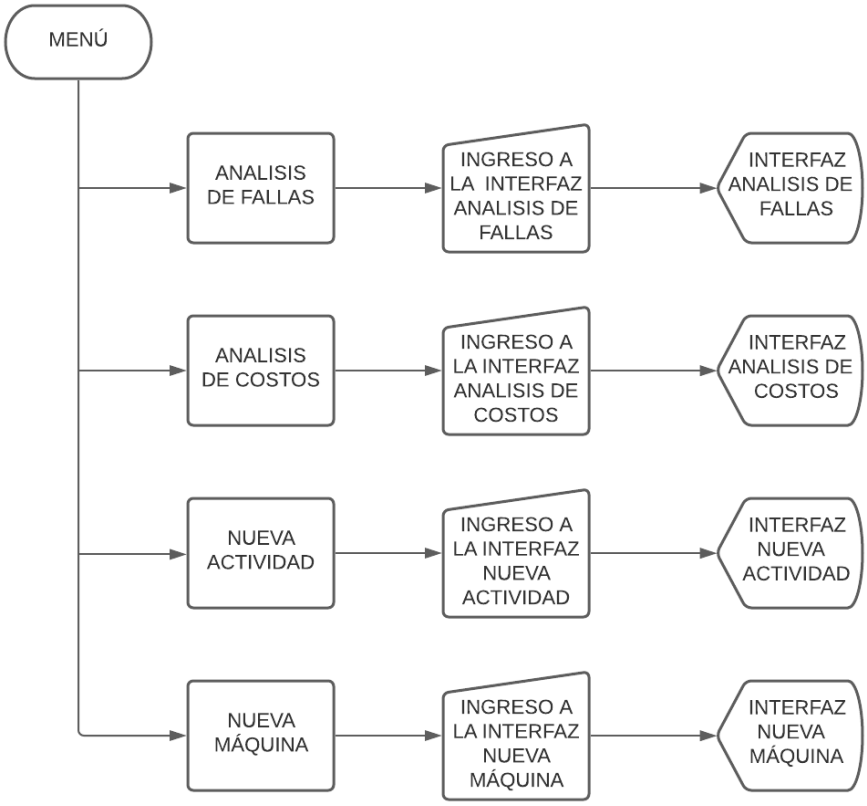


Figura 42 diagrama de flujo del menú

Fuente: Autores

6.4 Diseño de la Interfaz “ANÁLISIS DE FALLAS”

Para abrir esta interfaz el usuario deberá oprimir primer botón que se encuentra ubicado en la parte superior izquierda llamado “ANÁLISIS DE FALLAS” como se muestra en la figura 47.

Figura 43 Diseño del botón "ANÁLISIS DE FALLAS"

Fuente: Autores

Luego emergerá una ventana nueva la cual contiene un listado de las máquinas existentes en la base de datos de la flota de transporte.

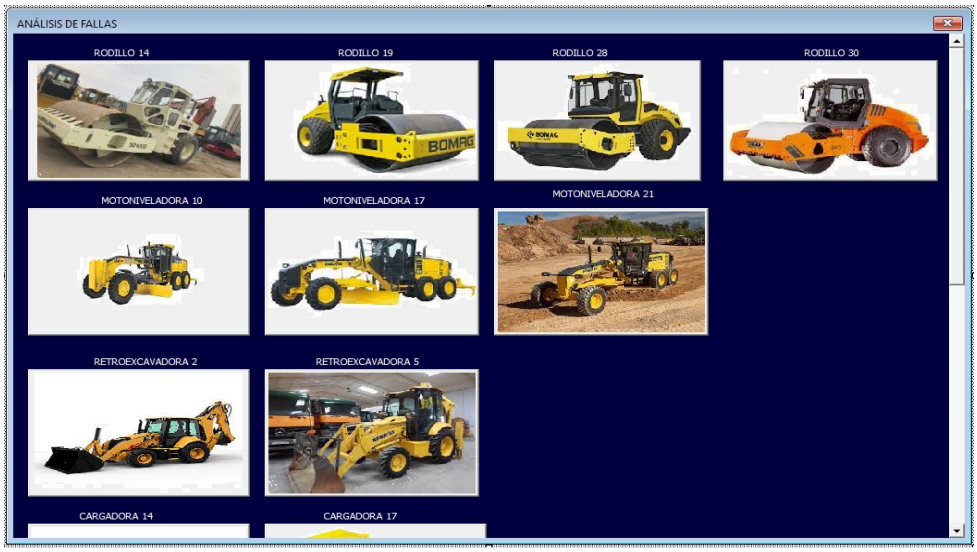


Figura 44 Interfaz del botón correspondiente a Análisis de fallas

Fuente: Autores

6.5 Diseño de la Interfaz de Análisis de Fallas Correspondientes al Rodillo

Al oprimir en cualquiera de estas máquinas se desplegará una ventana la cual contiene los diagramas de dispersión logarítmicas de fallas referentes a los años que máquina tiene en la empresa como se aprecia en la figura 50.

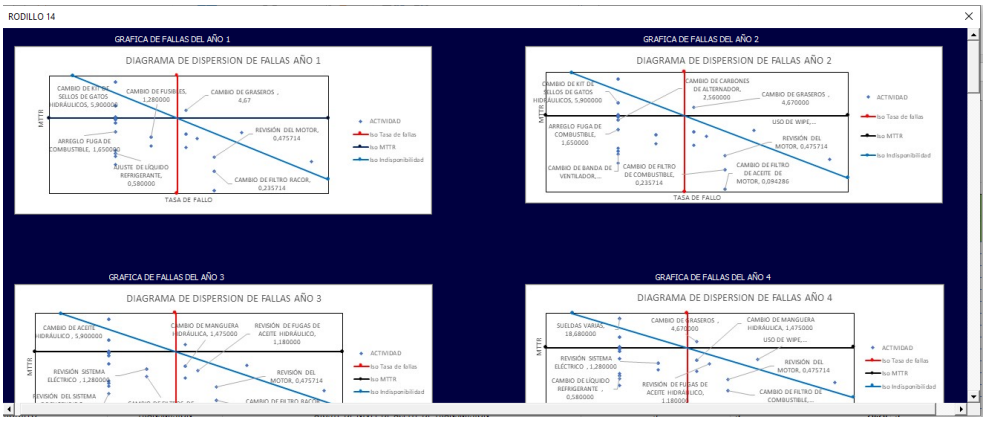


Figura 45 Gráficas de fallas correspondiente a la máquina seleccionada

Fuente: Autores

Para que la aplicación Microsoft Visual Basic genere las gráficas dentro de la ventana de la máquina que selecciono el usuario se usó una codificación la cual permite exportar una imagen de una hoja de Excel y usarla en cualquier formulario.

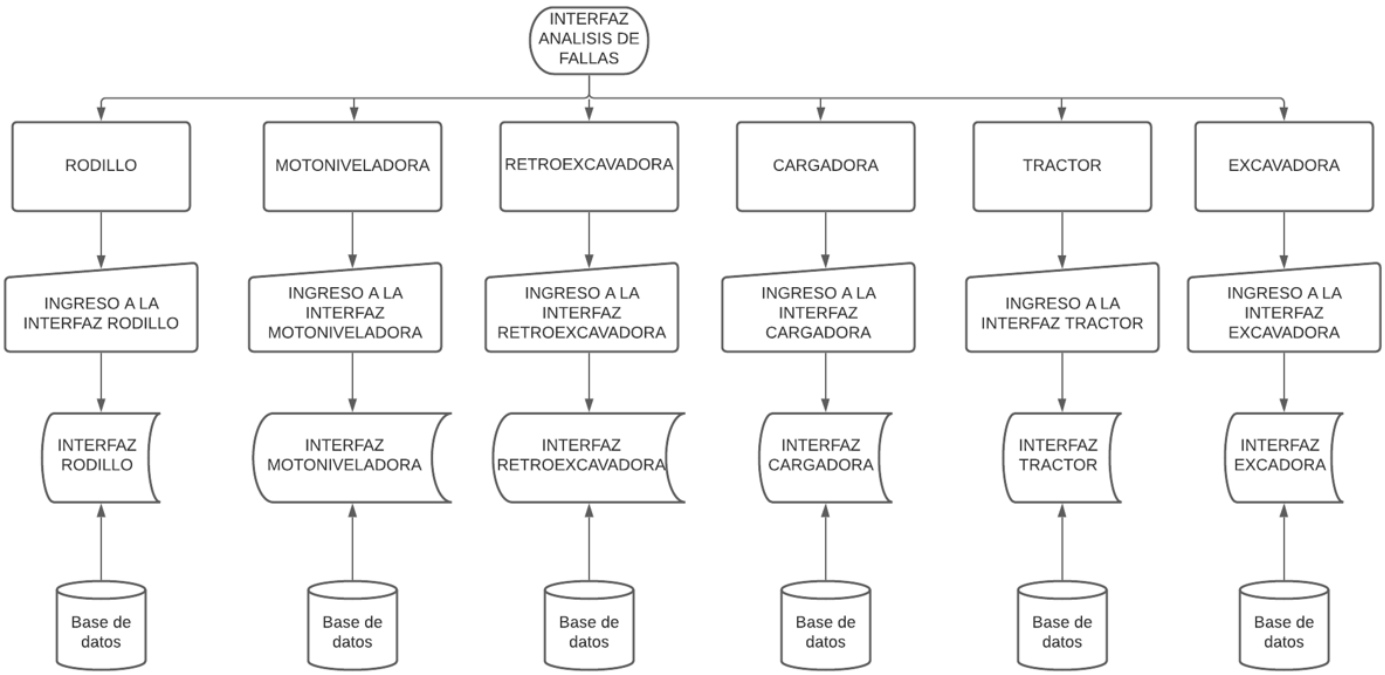


Figura 46 Diagrama de flujo de la interfaz de análisis de fallas

Fuente: Autores

6.6 Diseño de la Interfaz "ANÁLISIS DE COSTOS"

Para abrir esta interfaz el usuario deberá oprimir el botón que se encuentra ubicado en la parte superior derecha llamado "ANÁLISIS DE COSTOS" como se ve en la figura 52.

Figura 47 Interfaz del menú (Análisis de costos)

Fuente: Autores

Emergiendo una ventana nueva la cual contiene un listado de las máquinas existentes en la base de datos de la flota de transporte las cuales contienen las graficas correspondientes a analisis de costos que se han llevado en cada máquina a lo largo de todo su periodo laboral dentro de la empresa.

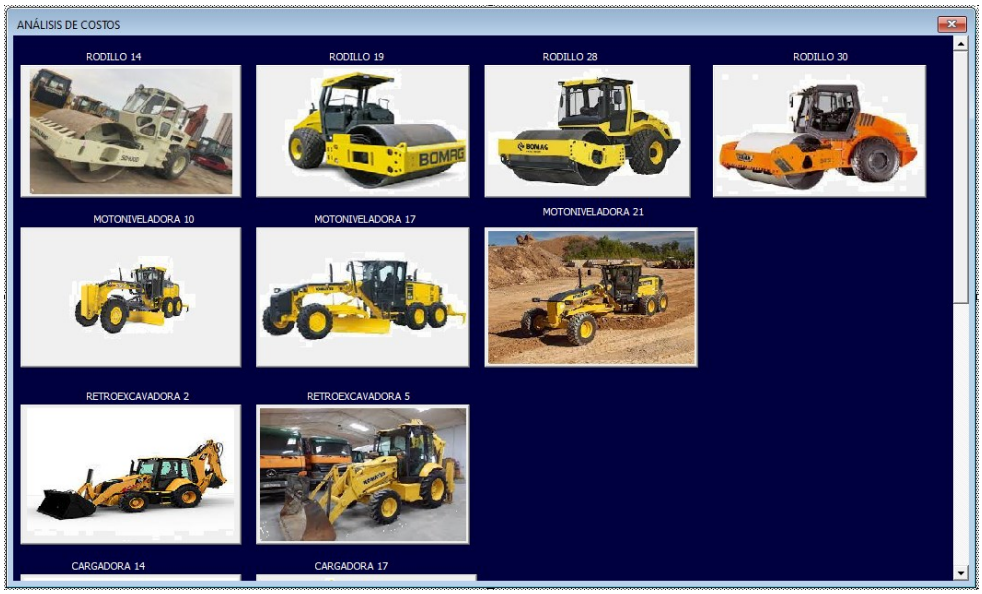


Figura 48 Interfaz del botón correspondiente a Análisis de costos

Fuente: Autores

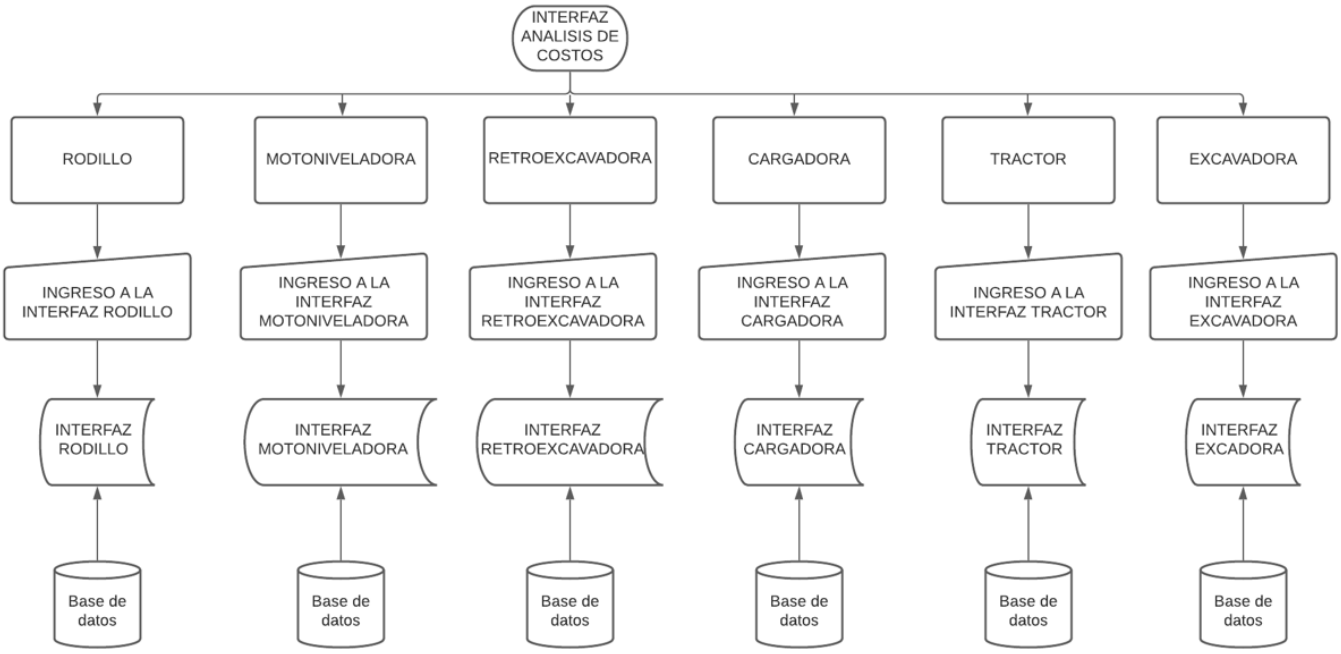


Figura 49 Diagrama de flujo de la interfaz análisis de costos.

Fuente: Autores

6.7 Diseño de la Interfaz de Análisis de Costos Correspondientes al Rodillo

Al oprimir en cualquiera de estas máquinas se desplegará una ventana la cual contiene los diagramas de dispersión logarítmicas de costos referentes a los años que máquina tiene en la empresa como se aprecia en la figura 55.

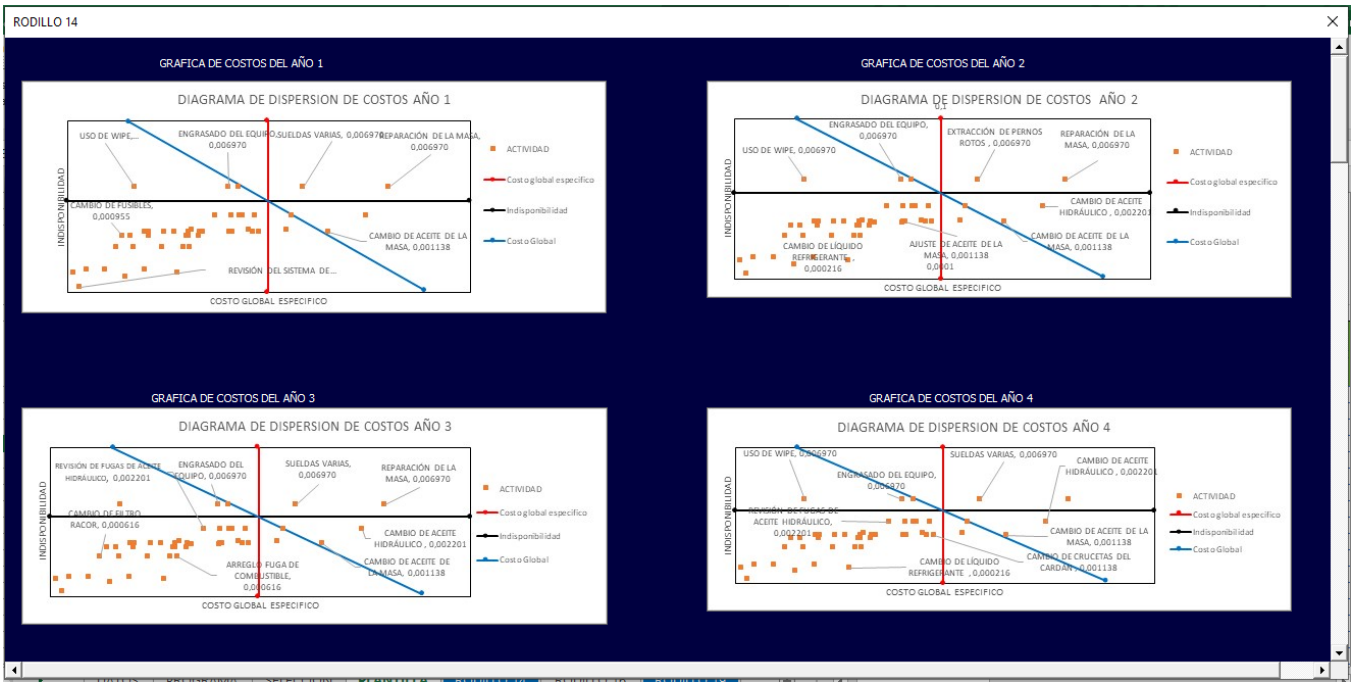


Figura 50 Gráficas de costos correspondiente a la máquina seleccionada

Fuente: Autores

6.8 Diseño de la Interfaz Nueva Actividad

Cuando el usuario oprima el botón que se encuentra ubicado en la parte superior izquierda llamado “NUEVA ACTIVIDAD” como se muestra en la figura 56.

Figura 51 Interfaz del menú (Nueva actividad)

Fuente: Autores

Emergerá una ventana la cual le pedirá al usuario que digite los datos necesarios para agregar una nueva actividad en la plantilla. Estos nuevos datos al ser ingresados el programa los detectará en la plantilla y hará los cálculos correspondientes y se los podrá visualizar en las gráficas de dispersión logarítmicas tanto de fallas como de costos.

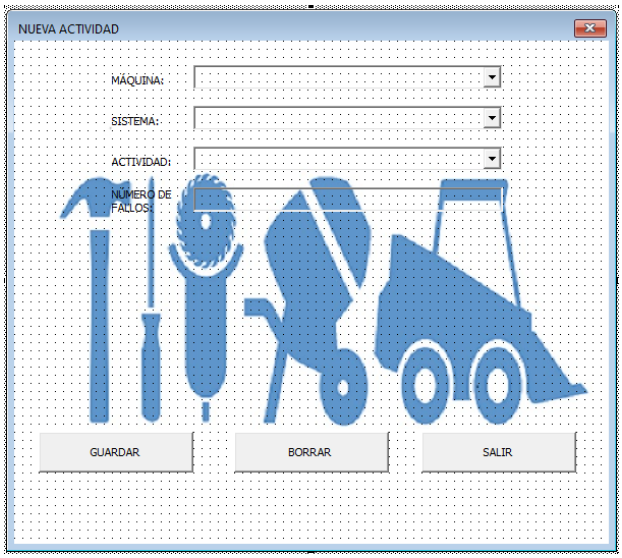


Figura 52 Interfaz del botón Nueva Actividad

Fuente: Autores

Esta interfaz también cuenta con listas desplegables para que se le facilite al usuario identificar los tipos de máquinas que se encuentren agregadas dentro de la base de datos del programa como se muestra en la figura 58.

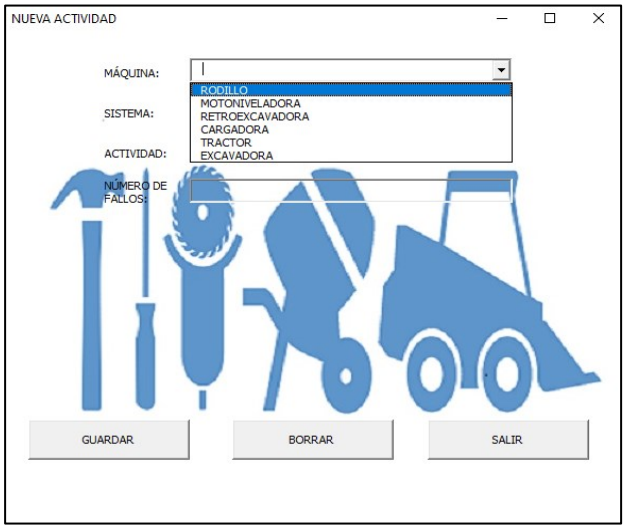


Figura 53 Lista desplegable correspondiente a máquina.

Fuente: Autores

Una vez realizada la primera lista desplegable se procede a realizar con la siguiente lista desplegable dependiente correspondiente a los sistemas que contiene la máquina seleccionada anteriormente como se muestra en la figura 59.

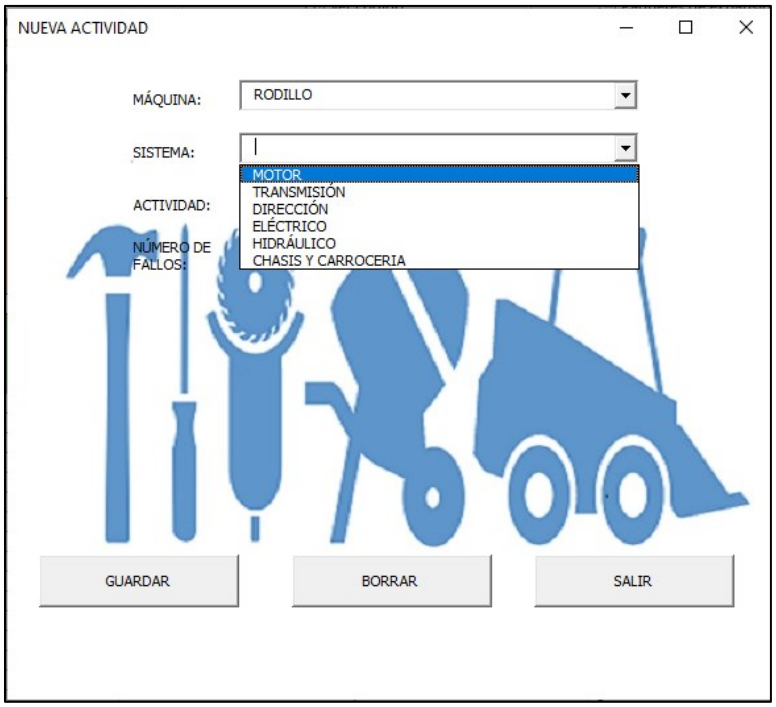


Figura 54 Lista desplegable correspondiente a sistema

Fuente: Autores

Una vez acabada la segunda lista desplegable llamada “SISTEMA” se procederá a realizar la última lista dependiente del formulario “Nueva Actividad”. Esta nueva lista debe ser dependiente de la lista desplegable llamada “MÁQUINA” y también debe ser dependiente de la lista desplegable llamada “SISTEMA” para que el programa determine que lista de actividades desplegar en la nueva lista dependiente llamada “ACTIVIDAD” como se puede apreciar en la figura 60.

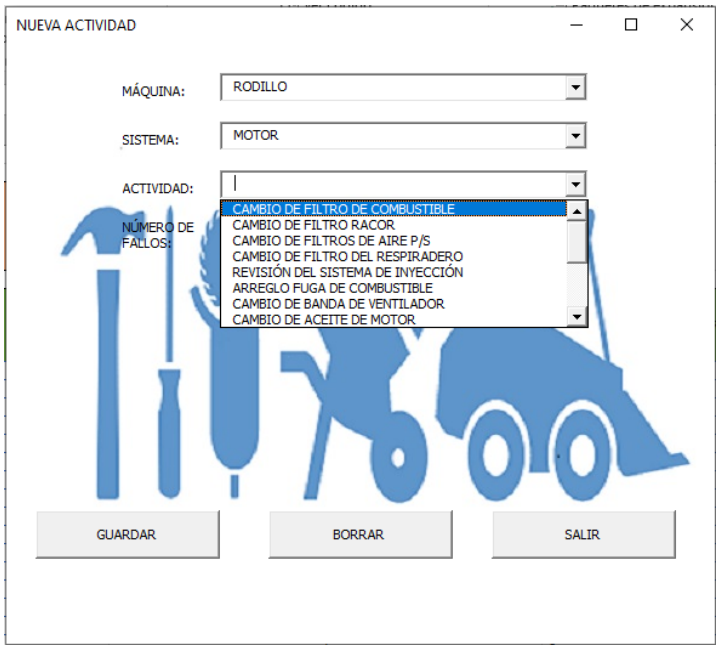


Figura 55 Lista desplegable correspondiente a Actividad

Fuente: Autores

Una vez ingresado todos los datos que nos pide la venta nueva actividad pulsamos el botón guardar y el programa guardará la actividad en la plantilla y de manera inmediata saldrá un mensaje emergente informado que la actividad se ha registrado en la plantilla como se puede ver en la Figura 61.

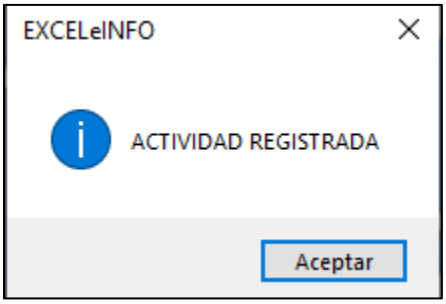


Figura 56 Mensaje emergente avisando que la actividad fue registrada.

Fuente: Autores

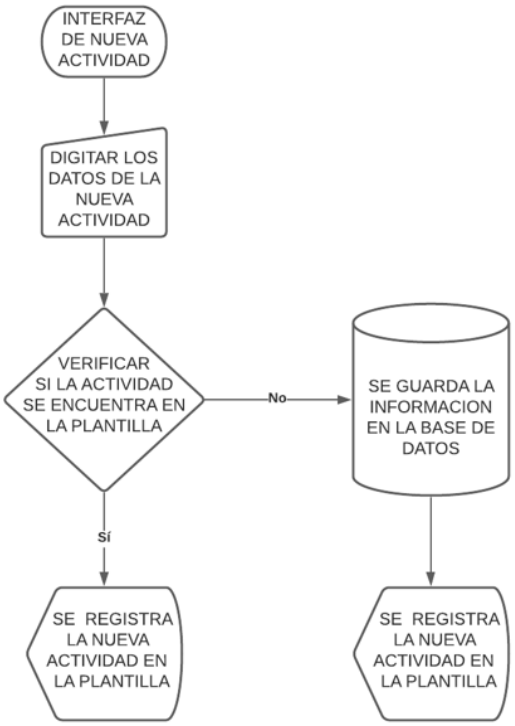


Figura 57 Diagrama de flujo de la interfaz Nueva Actividad

Fuente: Autores

6.9 Diseño de la Interfaz Nueva Máquina

Al oprimir el botón que se encuentra ubicado en la parte inferior derecha llamado “NUEVA MÁQUINA” como se muestra en la figura 63.

Figura 58 Interfaz del menú (Nueva Máquina)

Fuente: Autores

Luego emergerá una ventana la cual le pedirá al usuario que digite los datos necesarios para agregar una nueva actividad en la base de datos, estos nuevos datos al ser ingresados se guardaran en la base de datos del programa para luego ser utilizados al ingresar una nueva actividad en la plantilla.

6.10 Registro de una Nueva Máquina

La creación del registro de actividades tiene como propósito la elaboración de un inventario dinámico. Con la finalidad de tener conocimiento sobre el comportamiento de las actividades de mantenimiento gracias a la implementación del método Jack Knife.

El registro consta de secciones de información básica sobre el equipo y sus actividades.

a) Nombre de la máquina.
b) Sistema.
c) Actividad o fallo de la máquina.
d) Número de veces que ha fallado la máquina.
e) Costo del repuesto.
f) Costo de mano de obra.
g) Tiempo fuera de servicio.

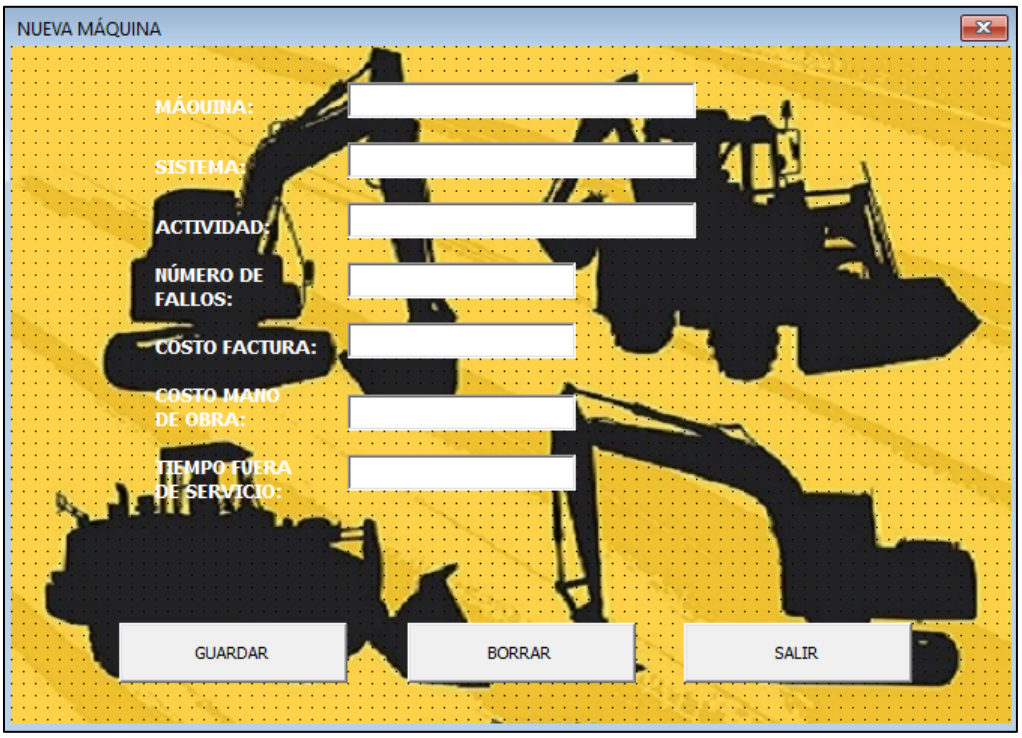


Figura 59 Interfaz del botón Nueva Máquina

Fuente: Autores

Todos estos ítems que se le piden al usuario ingresar son los datos que el programa necesita para registrarlos en la base de datos y así tener un software actualizable.

6.11 Aplicar el Método Jack Knife al Caso Practico

El diagrama de flujo que se muestra en la figura 66 es una representación de las decisiones lógicas que el programa toma después de que el usuario seleccione dentro de la interfaz.

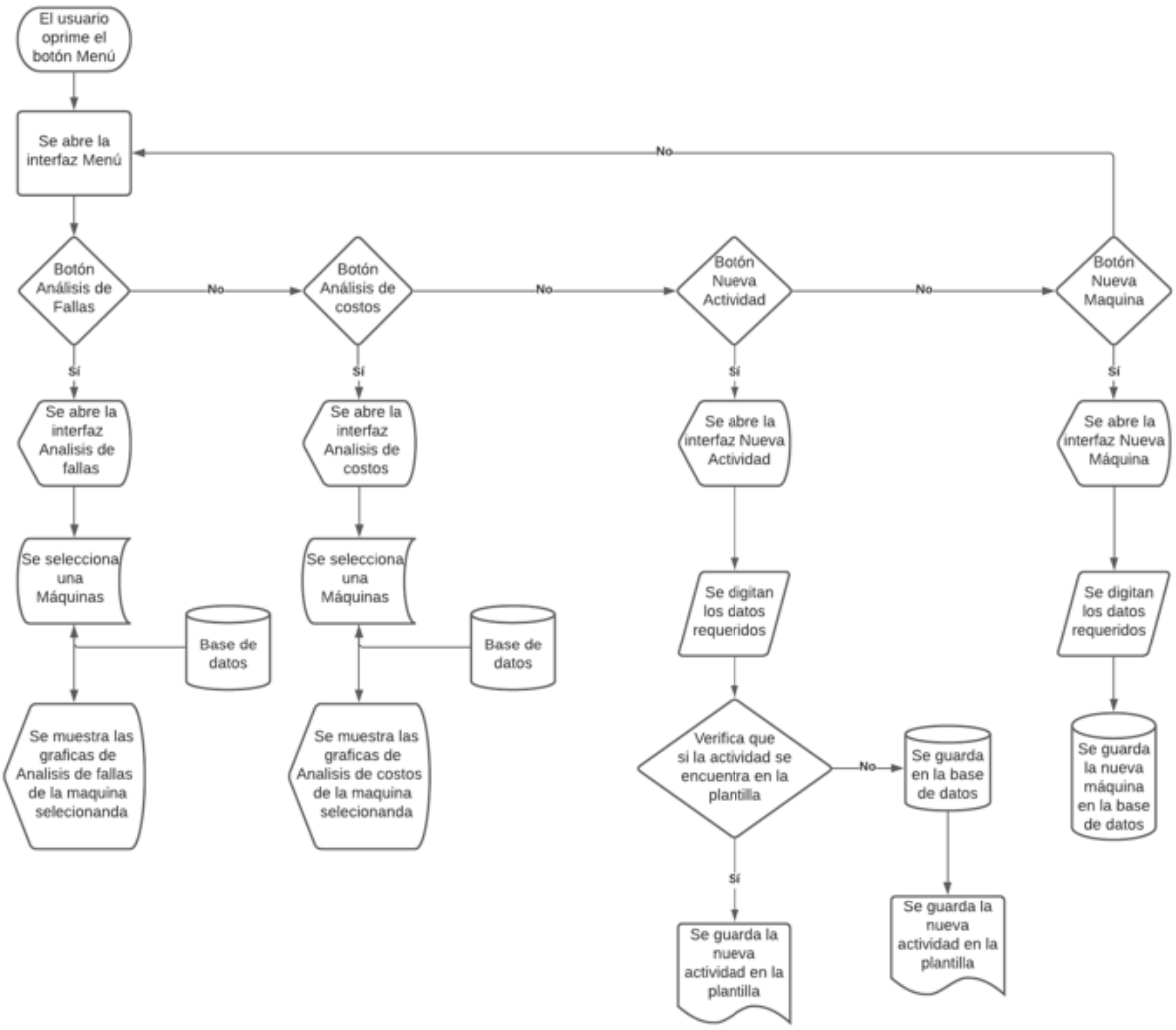


Figura 60 Diagrama de flujo del programa

Fuente: Autores

Una vez comprendido el funcionamiento del programa se procederá a ponerlo a prueba y así comprobar su correcto funcionamiento para de esta manera conocer los puntos o actividades que representan una alta mantenibilidad.

Las actividades que vamos a ubicar en la plantilla están representadas en la figura 67.

MAQUINA	SISTEMA	ACTIVIDAD	NÚMERO DE VECES QUE HA FALLADO LA MÁQUINA
RODILLO	MOTOR	CAMBIO DE BANDA DE VENTILADOR	1
RODILLO	MOTOR	CAMBIO DE FILTRO DE COMBUSTIBLE	7
RODILLO	MOTOR	CAMBIO DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	1
RODILLO	MOTOR	CAMBIO DE ACEITE DE MOTOR	7
RODILLO	MOTOR	REVISIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN	1
RODILLO	MOTOR	CAMBIO DE FILTROS DE AIRE P/S	2
RODILLO	MOTOR	ARREGLO FUGA DE COMBUSTIBLE	1
RODILLO	MOTOR	CAMBIO DE BASES DEL MOTOR	1
RODILLO	MOTOR	AJUSTE DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	6
RODILLO	MOTOR	AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE MOTOR	8
RODILLO	MOTOR	CAMBIO DE FILTRO RACOR	7
RODILLO	MOTOR	CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE MOTOR	7
RODILLO	MOTOR	REVISIÓN DEL MOTOR	7
RODILLO	MOTOR	CALIBRACIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISIÓN Y ESCAPE	1
RODILLO	TRANSMISIÓN	AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	3
RODILLO	TRANSMISIÓN	AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DEL DIFERENCIAL	2
RODILLO	TRANSMISIÓN	AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE MANDOS FINALES	1
RODILLO	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE ACEITE DE LA MASA	1
RODILLO	TRANSMISIÓN	AJUSTE DE ACEITE DE LA MASA	4
RODILLO	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE ACEITE DEL DIFERENCIAL	2
RODILLO	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE ACEITE DE MANDOS FINALES	1
RODILLO	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	1
RODILLO	TRANSMISIÓN	REPARACIÓN DE NEUMÁTICO	4
RODILLO	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	1
RODILLO	DIRECCIÓN	CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE DEL ORBITROL	1
RODILLO	DIRECCIÓN	CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE DEL GATO HIDRÁULICO DE LA DIRECCIÓN	1
RODILLO	ELÉCTRICO	AJUSTE DE NIVEL DE ELECTROLITO EN LA BATERÍA	1
RODILLO	ELÉCTRICO	CAMBIO DE CARBONES DE ALTERNADOR	1
RODILLO	ELÉCTRICO	CAMBIO DE FOCOS	2
RODILLO	ELÉCTRICO	CAMBIO DE FUSIBLES	2
RODILLO	ELÉCTRICO	REVISIÓN DE LUCES	1
RODILLO	ELÉCTRICO	REVISIÓN SISTEMA ELÉCTRICO	2
RODILLO	HIDRÁULICO	AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE HIDRÁULICO	4
RODILLO	HIDRÁULICO	CAMBIO DE ACEITE HIDRÁULICO	1
RODILLO	HIDRÁULICO	CAMBIO DE FILTRO HIDRÁULICO	1
RODILLO	HIDRÁULICO	CAMBIO DE MANGUERA HIDRÁULICA	5
RODILLO	HIDRÁULICO	CAMBIO DE KIT DE SELLOS DE GATOS HIDRÁULICOS	1
RODILLO	HIDRÁULICO	CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	4
RODILLO	CHASIS Y CARROCERIA	SUELDAS VARIAS	4

Figura 61 Actividades para la prueba de programa

Fuente: Autores

Después de añadir las actividades que se pretende evaluar el programa se encargará de realizar los cálculos pertinentes al método de dispersión logarítmica Jack Knife y realizara las diagramas tanto de fallas como de costos como se puede apreciar en las figuras 68 y 69 respectivamente.

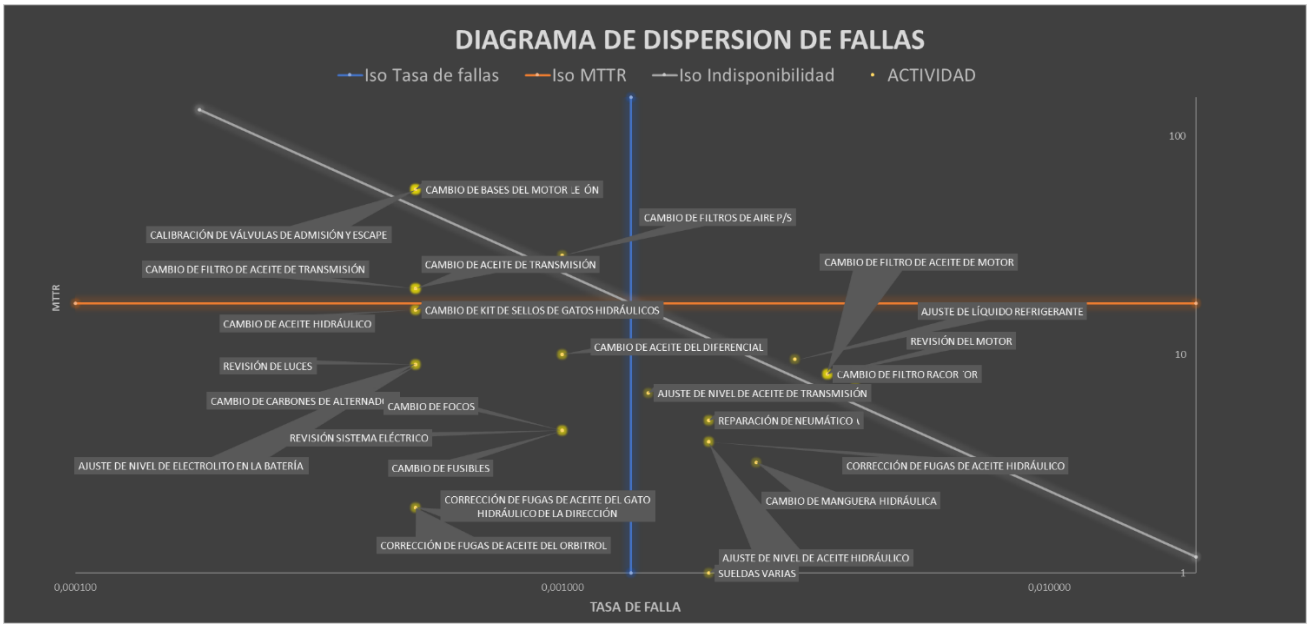


Figura 62 Diagrama de dispersión de fallas

Fuente: Autores

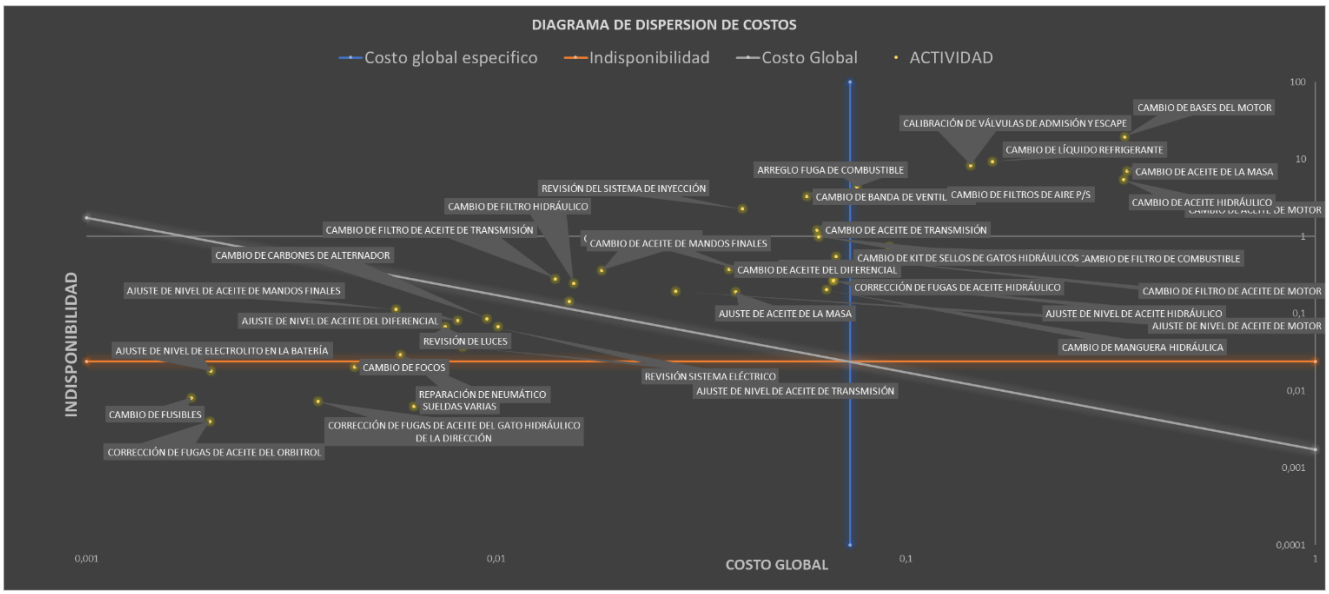


Figura 63 Diagrama de dispersión de costos

Fuente: Autores

6.12 Resultados

Una vez finiquitada la parte metodológica por parte del método de dispersión logarítmica Jack Knife y sus respectivos cálculos, se obtuvo resultados que serán analizados gráficamente. Analizando el posicionamiento de las actividades en un entorno estadístico da una perspectiva de multicriterio a su juzgamiento de la relevancia que tenga la actividad de mantenimiento con respecto a los factores de indisponibilidad y el tiempo medio de reparación.

6.12.1 Análisis de la Gráfica de Fallas

Una vez obtenidas las gráficas se procederá a evaluar las actividades según su ubicación en el plano, así denotando su grado de criticidad.

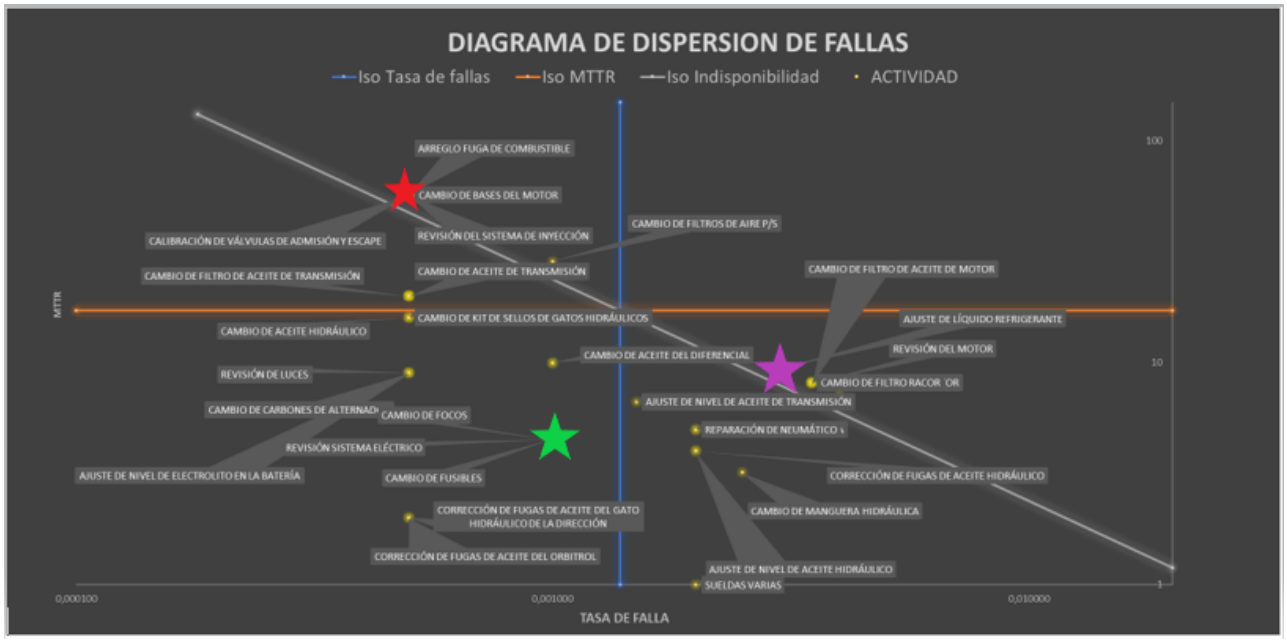


Figura 64 Análisis de la gráfica de fallas

Fuente: Autores

Como se puede apreciar en la figura 66 se marcado tres actividades que están en diferentes cuadrantes en la gráfica de fallas donde se describirá brevemente el nivel de criticidad de cada una de ellas.

La actividad marcada con una estrella roja (actividad cambio de bases del motor) en la figura 65 se encuentra en el cuadrante de fallas agudas lo que significa que este tipo de fallas presentan un mayor tiempo de duración de tiempo fuera de servicio.

La estrella verde (representa la actividad cambio de carbones del alternador) se encuentra en el cuadrante de fallas inertes lo que significa que este tipo de fallas no aparecen con frecuencia y tienen poco impacto en el tiempo fuera de servicio de la máquina.

La estrella morada (enmarca la actividad ajuste del nivel del líquido refrigerante) se encuentra en el cuadrante de fallas crónicas lo cual significa que este tipo de fallas se caracterizan por ser repetitivas y no tienen un gran impacto en el tiempo fuera de servicio.

6.12.2 Análisis de la Gráfica de Costos

Para el caso de la graficas de costos el impacto de las actividades a evaluar se verá reflejado en el costo de mantenimiento de dicha máquina.

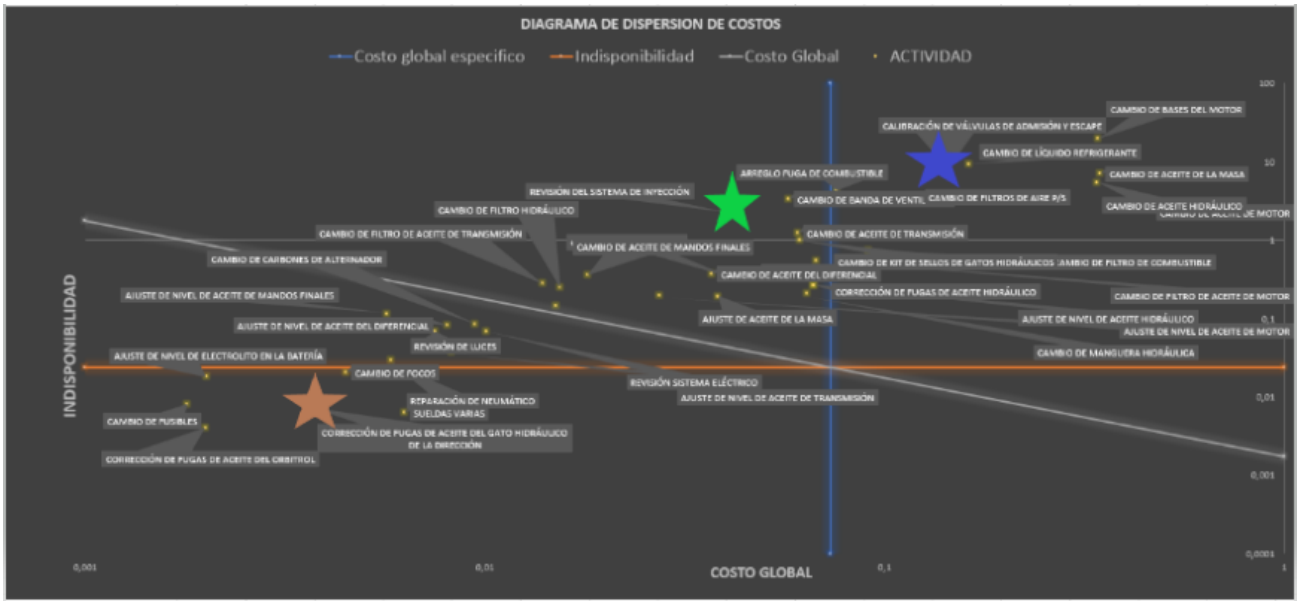


Figura 65 Análisis de la gráfica de costos

Fuente: Autores

Como se puede apreciar en la figura 67 se ha marcado tres actividades que se encuentran en distintos cuadrantes para poder describir su indisponibilidad el impacto sobre la línea de producción.

La actividad delimitada por la figura de color verde (que representa a la actividad de revisión del sistema de inyección) se encuentra en el cuadrante de los factores agudos, lo que quiere decir la máquina queda por un largo periodo de tiempo fuera de servicio trayendo como consecuencia nula rentabilidad a la empresa.

La actividad de mantenimiento fijada por el color azul (que representa a la calibración de las válvulas de admisión y escape) se interpreta como un tipo de factor agudo crónico, se caracterizan al igual que los factores agudos por la falta de rentabilidad del equipo al este estar un largo tiempo fuera de servicio, sin embrago adicionalmente el factor se vuelve repetitivo dando como resultado un costo periódico para solventar la falla.

La siguiente actividad marcada por el color café (que representa a la actividad de corrección de fugas de aceite del gato hidráulico de la dirección) se puede interpretar como un tipo de factor inerte, lo cual significa que son fallas normales y pueden ser solventadas de manera inmediata.

6.13 Perfil y Alcance de la Herramienta Informática

Existen tres perfiles para el uso de la herramienta:

- Usuarios agrupación, con acceso a consulta y modificación de datos de su propia agrupación.
- Usuarios dentro la dirección que podrán verificar el comportamiento del equipo, así facilitando una estrategia de mantenimiento y financiamiento empírica.

- Usuarios con acceso especial con fines investigativos.

Mientras el alcance de forma general se ve reflejada por:

- Empresas que cuenten con equipos los cuales representen parte fundamental en la línea de producción, o simplemente presten su servicio dentro de la compañía.
- Control de maquinaria con acceso a la herramienta informática.

6.14 Plan de Mantenimiento Enfocado a los Índices de Criticidad

Un plan de mantenimiento no es más que el conjunto de gamas de mantenimiento elaboradas para atender un sistema. Este plan contiene todas las tareas necesarias para prevenir los principales fallos que afectan a los elementos de un equipo.

6.14.1 Gama de Mantenimiento

Es una lista de tareas a realizar en un sistema. Existen gamas por frecuencia (gamas diarias, gamas semanales y mensuales, gamas anuales, etc.) o por especialidad (gamas de operación, gamas mecánicas, gamas eléctricas, gamas predictivas, etc.),

- Gamas diarias: Contienen tareas que se realizan fácilmente. Tales como controles visuales, mediciones, pequeños trabajos de limpieza o engrase.
- Gamas semanales y mensuales: Tareas as complicadas que no están justificadas realizarlas a diario. Implican en algunos casos desmontajes, paradas de equipos o toma de datos laboriosos.
- Gamas anuales: Supone algunos casos de revisión completa del equipo (OVERHAUL). Es el caso de cambio de rodamientos, limpieza de interior de una bomba, medición de espesores, equilibrado de aspas de un ventilador, etc. Siempre

supone la parada del equipo durante varios días, por lo que es necesario estudiar el momento más adecuado para realizarlo.

6.15 Ventajas de Disponer un Plan de Mantenimiento

- Reducir las intervenciones correctivas, puesto que una buena predicción y planificación evitaran averías.
- Aumentar la disponibilidad de los activos, por lo que se conseguirá una mayor rentabilidad en la producción.
- Aumentar la productividad en fabrica y reducir costes derivados de la parada de producción.
- Reducir los gastos en reparaciones, tanto materiales como humanos.
- Reducción de costes por reemplazo de equipos, puesto que la vida útil de los activos se verá ampliada.
- Reducir riesgo de accidentes laborales relacionados con fallos de equipos.
- Evitar sanciones por incumplimiento de la normativa de reglamentación.
- Aumentar la eficiencia del área de mantenimiento, puestos de trabajo estando así mucho mejor organizados y optimizados.
- Disponer de una gestión eficiente de maquinaria y herramientas, evitando así carencias de herramientas cuando son necesarias.

En resumen, disponer de un buen plan de mantenimiento predictivo es clave para trabajar de manera más eficiente.

7 Conclusiones

Este trabajo de titulación se realizó sobre una flota de transporte de una empresa anónima, analizando datos históricos de actividades de mantenimiento a lo largo de la vida útil del activo, con el fin de conocer los elementos críticos de una unidad productiva, modelando así una estrategia que ayude a aumentar la confiabilidad del equipo.

Para obtener los datos se consultó el registro historial de facturación, esto para entrelazar fallas, costos y frecuencia. Ya dispuesto con toda la data histórica, se obtiene una base de datos con variables de importancia para su análisis. De esta manera, poder inferir sobre ellas y optar por la oportunidad de mejora.

Mediante el diagrama Jack Knife, se obtuvo las actividades que deterioran el desempeño del equipo. Generando la oportunidad de proponer soluciones de diversa índole. Muy importante es recalcar la importancia de las medidas correctivas que se pueden proponer luego de un juzgamiento de la herramienta informática. De esta forma abriendo una brecha a una futura oportunidad de implementación de un plan maestro de producción.

Es muy importante mencionar la relevancia que tiene el registro de actividades de mantenimiento¸ especificando las tareas realizadas con todas sus variables de importancia. Ya que solo así se puede obtener información desde el software, esta información no solo es útil para el cálculo de indicadores, de ella se obtienen análisis que terminan impactando directamente en la producción.

Finalmente, mencionar que mediante este trabajo solo se logra demostrar una de las variadas opciones que posee la ingeniería sobre la confiabilidad, base para una gestión de activos óptima. Queda mucho por incorporar, ya que no es la herramienta definitiva en lo que a servicio de confiabilidad se refiere. Lo anterior referido a que no se llega a planear la redundancia de equipos o sistemas, estrategias de mantenimiento, gestión de repuestos a un alto nivel, evaluación masiva de planes de mantenimiento, logrando así un desarrollo impecable del mantenimiento predictivo, entre otros.

8 Bibliografía

Arenas, F. (2016). *DESARROLLO DE SOFTWARE DE GESTIÓN DE FALLAS DE EQUIPOS MÓVILES DE PRODUCCIÓN MINA SUBTERRÁNEA*.

Campbell, J. D., Jardine, A. K. S., & McGlynn, J. (Eds.). (2010). *Asset Management Excellence: Optimizing Equipment Life-Cycle Decisions, Second Edition* (2.ª ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/b10361

Córdova, M. (2014). *Como elaborar un diagrama de Jack Knife—Lo Basico.* http://confiandoenlaingenieria.blogspot.com/2014/01/como-elaborar-un-diagrama-de-jack-knife.html

Jardine, A. K. S., & Tsang, A. H. C. (s. f.). *Maintenance, Replacement, and Reliability*. 360.

Kale, N. N., Joshi, D., & Menon, R. (2016). Life cycle cost analysis of commercial buildings with energy efficient approach. *Perspectives in Science*, *8*, 452-454. https://doi.org/10.1016/j.pisc.2016.04.102

Living Reliability. (s. f.). *Análisis de Confiabilidad en más de 2 dimensiones.* 7.

Louit, D., Pascual, R., Banjevic, D., & Jardine, A. K. S. (2011). Optimization models for critical spare parts inventories—A reliability approach. *Journal of the Operational Research Society*, *62*(6), 992-1004. https://doi.org/10.1057/jors.2010.49

Martínez, L. B., Díaz, V. G., Márquez, A. C., Moreu, P., D E León, & Parra, C. (2012). *Revisión de herramientas informáticas para el análisis de la fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad (RAMS) de equipos industriales*. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23948.13448

Pascual, R. (2004). *El arte de mantener* (Segunda).

Pascual, R. (2009). *El arte de mantener*. 1340.

Rojas, R. (2007). *SISTEMAS DE COSTOS Un proceso para su implementacion* (Primera Edición). Univ. Nacional de Colombia.

Tsang, A. H. C., Jardine, A. K. S., & Kolodny, H. (1999). *Measuring maintenance performance: A holistic approach*. https://doi.org/10.1108/01443579910271674

veedor. (2015, septiembre 24). *¿Conoces los costes del mantenimiento?* Veedor. http://veedor.es/conoces-los-costes-del-mantenimiento/

Viveros, P., Stegmaier, R., Kristjanpoller, F., Barbera, L., & Crespo, A. (2013). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, *21*(1), 125-138. https://doi.org/10.4067/S0718-33052013000100011

9 Anexos

Anexo 1 base de datos histórica del rodillo(Año 1)

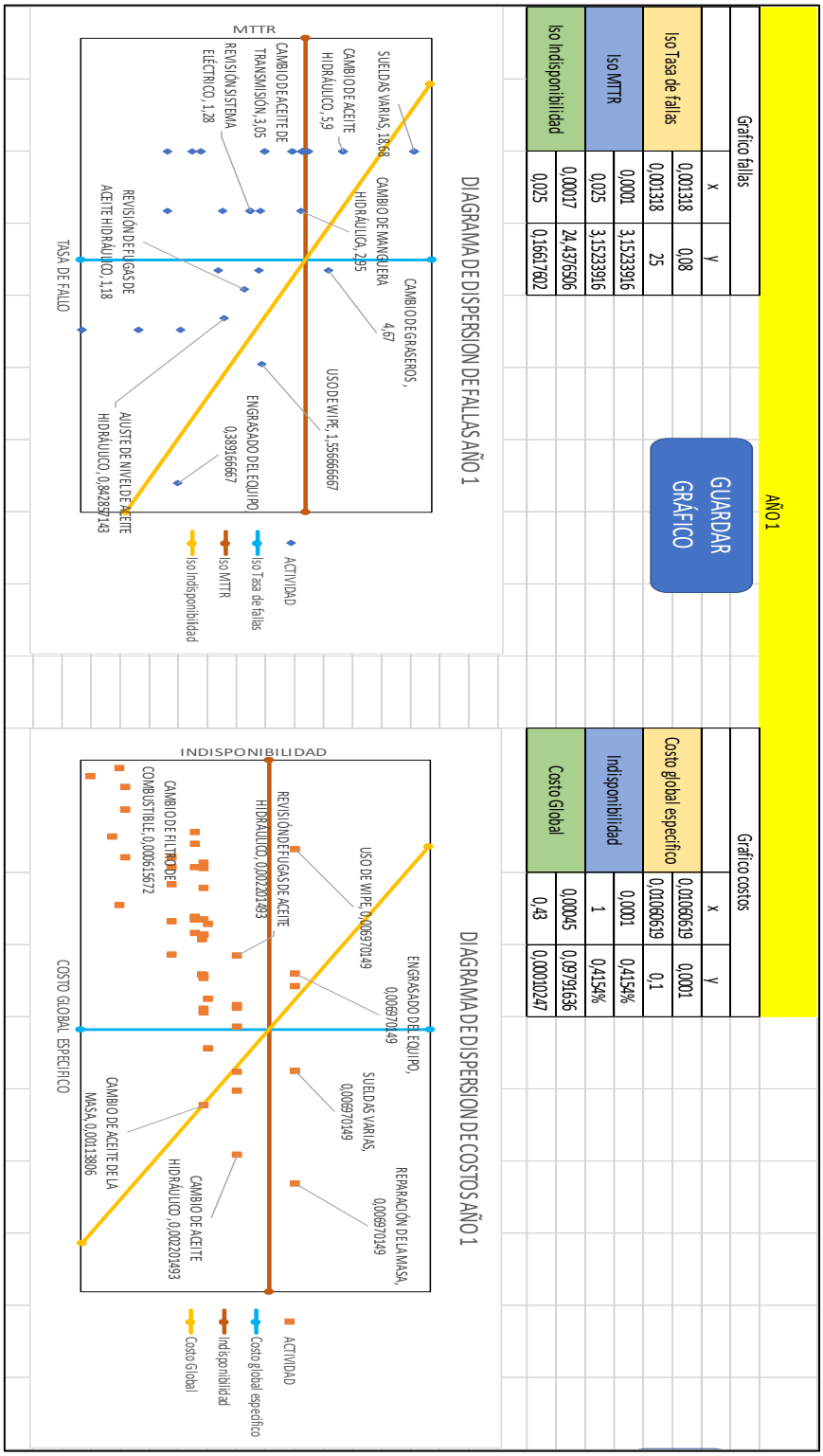
MAQUINA	AÑO	SISTEMA	ACTIVIDAD	NÚMERO DE VECES QUE HA FALLADO LA MÁQUINA	COSTO FACTURA	COSTO MO UNITARIO	COSTO MO TOTAL	COSTO TOTAL	COSTO TOTAL SISTEMA	TIEMPO FUERA DE SERVICO (h)	STTR (Tiempo totales para reparar) (hr)	Total de Fallas
RODILLO 14 INGERSOLL RAND SD-100D B AÑO: 1999	AÑO 1	MOTOR	CAMBIO DE FILTRO DE COMBUSTIBLE	7	$86,00	$10,00	$70,00	$672,00	$1.357,22	0,16	1,65	18
	AÑO 1	MOTOR	CAMBIO DE FILTRO RACOR	7	$33,66	$10,00	$70,00	$305,62		0,08		
	AÑO 1	MOTOR	CAMBIO DE FILTROS DE AIRE P/S	2	$118,79	$10,00	$20,00	$257,58		0,08		
	AÑO 1	MOTOR	REVISIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN	1	$2,02	$40,00	$40,00	$42,02		0,33		
	AÑO 1	MOTOR	ARREGLO FUGA DE COMBUSTIBLE	1	$40,00	$40,00	$40,00	$80,00		1		
	AÑO 1	MOTOR	CAMBIO DE BANDA DE VENTILADOR	1	$40,41	$20,00	$20,00	$60,41	$60,41	0,5	0,5	1
	AÑO 1	MOTOR	CAMBIO DE ACEITE DE MOTOR	7	$427,15	$10,00	$70,00	$3.060,05	$3.587,10	0,5	0,66	15
	AÑO 1	MOTOR	CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE MOTOR	7	$61,17	$10,00	$70,00	$498,19		0,08		
	AÑO 1	MOTOR	AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE MOTOR	1	$18,86	$10,00	$10,00	$28,86		0,08		
	AÑO 1	MOTOR	CAMBIO DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	1	$156,49	$15,00	$15,00	$171,49	$187,35	0,33	0,58	2
	AÑO 1	MOTOR	AJUSTE DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	1	$5,86	$10,00	$10,00	$15,86		0,25		
	AÑO 1	MOTOR	REVISIÓN DEL SISTEMA DE ENCENDIDO	1	$2,02	$30,00	$30,00	$32,02	$32,02	0,33	0,33	1
	AÑO 1	MOTOR	REVISIÓN DEL MOTOR	7	$10,00	$40,00	$280,00	$350,00	$861,60	0,33	3,33	9
	AÑO 1	MOTOR	CALIBRACIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISIÓN Y ESCAPE	1	$91,60	$60,00	$60,00	$151,60		1		
	AÑO 1	MOTOR	CAMBIO DE BASES DEL MOTOR	1	$300,00	$60,00	$60,00	$360,00		2		
	AÑO 1	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	1	$141,85	$40,00	$40,00	$181,85	$1.894,86	0,5	3,05	14
	AÑO 1	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE ACEITE DEL DIFERENCIAL	1	$70,88	$40,00	$40,00	$110,88		0,16		
	AÑO 1	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE ACEITE DE MANDOS FINALES	1	$14,18	$40,00	$40,00	$54,18		0,16		
	AÑO 1	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE ACEITE DE LA MASA	1	$999,41	$40,00	$40,00	$1.039,41		0,33		
	AÑO 1	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE TRANSMSIÓN	1	$21,82	$20,00	$20,00	$41,82		0,08		
	AÑO 1	TRANSMISIÓN	AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	1	$20,26	$10,00	$10,00	$30,26		0,16		
	AÑO 1	TRANSMISIÓN	AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DEL DIFERENCIAL	1	$14,17	$10,00	$10,00	$24,17		0,08		
	AÑO 1	TRANSMISIÓN	AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE MANDOS FINALES	1	$7,09	$10,00	$10,00	$17,09		0,08		
	AÑO 1	TRANSMISIÓN	AJUSTE DE ACEITE DE LA MASA	1	$105,20	$10,00	$10,00	$115,20		0,5		
	AÑO 1	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE CRUCETAS DEL CARDÁN	1	$160,00	$50,00	$50,00	$210,00		0,5		
	AÑO 1	TRANSMISIÓN	REPARACIÓN DE NEUMÁTICO	4	$2,50	$15,00	$60,00	$70,00		0,5		
	AÑO 1	DIRECCIÓN	CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE DEL ORBITROL	1	$20,00	$40,00	$40,00	$60,00	$170,00	1,5	3	2
	AÑO 1	DIRECCIÓN	CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE DEL GATO HIDRÁULICO DE LA DIRECCIÓN	1	$60,00	$50,00	$50,00	$110,00		1,5		
	AÑO 1	ELÉCTRICO	REVISIÓN SISTEMA ELÉCTRICO	2	$15,13	$40,00	$80,00	$110,26	$320,86	1	2,56	9
	AÑO 1	ELÉCTRICO	REVISIÓN DE LUCES	1	$10,00	$40,00	$40,00	$50,00		0,16		
	AÑO 1	ELÉCTRICO	CAMBIO DE FOCOS	2	$20,00	$10,00	$20,00	$60,00		0,16		
	AÑO 1	ELÉCTRICO	AJUSTE DE NIVEL DE ELECTROLITO EN LA BATERÍA	1	$3,42	$10,00	$10,00	$13,42		0,08		
	AÑO 1	ELÉCTRICO	CAMBIO DE FUSIBLES	2	$2,00	$10,00	$20,00	$24,00		0,16		
	AÑO 1	ELÉCTRICO	CAMBIO DE CARBONES DE ALTERNADOR	1	$23,18	$40,00	$40,00	$63,18		1		
	AÑO 1	HIDRÁULICO	CAMBIO DE ACEITE HIDRÁULICO	1	$975,10	$300,00	$300,00	$1.275,10	$4.731,29	1	5,9	20
	AÑO 1	HIDRÁULICO	CAMBIO DE FILTRO HIDRÁULICO	1	$27,87	$30,00	$30,00	$57,87		0,08		
	AÑO 1	HIDRÁULICO	AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE HIDRÁULICO	4	$239,29	$10,00	$40,00	$997,16		0,16		
	AÑO 1	HIDRÁULICO	REVISIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	5	$2,02	$40,00	$200,00	$210,08		0,16		
	AÑO 1	HIDRÁULICO	CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	4	$200,00	$50,00	$200,00	$1.000,00		1,5		
	AÑO 1	HIDRÁULICO	CAMBIO DE KIT DE SELLOS DE GATOS HIDRÁULICOS	1	$150,00	$80,00	$80,00	$230,00		1		
	AÑO 1	HIDRÁULICO	CAMBIO DE MANGUERA HIDRÁULICA	4	$220,27	$20,00	$80,00	$961,08		2		
	AÑO 1	CHASIS Y CARROCERIA	SUELDAS VARIAS	1	$44,53	$50,00	$50,00	$94,53	$18.700,54	8	18,68	67
	AÑO 1	CHASIS Y CARROCERIA	EXTRACCIÓN DE PERNOS ROTOS	1	$44,53	$50,00	$50,00	$94,53		2		
	AÑO 1	CHASIS Y CARROCERIA	REPARACIÓN DE LA MASA	1	$414,28	$250,00	$250,00	$664,28		8		
	AÑO 1	CHASIS Y CARROCERIA	CAMBIO DE GRASEROS	4	$47,11	$10,00	$40,00	$228,44		0,16		
	AÑO 1	CHASIS Y CARROCERIA	ENGRASADO DEL EQUIPO	48	$531,01	$10,00	$480,00	$17.328,48		0,5		
	AÑO 1	CHASIS Y CARROCERIA	USO DE WIPE	12	$24,19	$0,00	$0,00	$290,28		0,02		

Fuente: Autores

Anexo 2 Base de datos histórica motoniveladora(Año 5)

MÁQUINA	AÑO	SISTEMA	ACTIVIDAD	# DE VECES	COSTO FACTURA	COSTO MO UNITARIO	COSTO MO TOTAL	COSTO TOTAL	COSTO TOTAL SISTEMA
MOTONIVELADORA 10 JOHN DEERE 670-C AÑO: 1999	AÑO 5	MOTOR	CAMBIO DE FILTRO DE COMBUSTIBLE	8	$532,55	$10,00	$80,00	$612,55	$3.631,33
	AÑO 5	MOTOR	CAMBIO DE FILTRO RACOR	8	$38,46	$10,00	$80,00	$118,46	
	AÑO 5	MOTOR	CAMBIO DE FILTROS DE AIRE P/S	2	$161,05	$10,00	$20,00	$181,05	
	AÑO 5	MOTOR	REVISIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN	1	$2,02	$40,00	$40,00	$42,02	
	AÑO 5	MOTOR	REPARACIÓN BOMBA DE INYECCIÓN	1	$2.497,25	$100,00	$100,00	$2.597,25	
	AÑO 5	MOTOR	ARREGLO FUGA DE COMBUSTIBLE	1	$40,00	$40,00	$40,00	$80,00	
	AÑO 5	MOTOR	CAMBIO DE BANDA DE VENTILADOR	1	$70,93	$20,00	$20,00	$90,93	$90,93
	AÑO 5	MOTOR	CAMBIO DE ACEITE DE MOTOR	8	$895,49	$10,00	$80,00	$975,49	$1.256,08
	AÑO 5	MOTOR	CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE MOTOR	8	$143,53	$10,00	$80,00	$223,53	
	AÑO 5	MOTOR	AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE MOTOR	2	$37,06	$10,00	$20,00	$57,06	
	AÑO 5	MOTOR	CAMBIO DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	1	$156,49	$15,00	$15,00	$171,49	$187,35
	AÑO 5	MOTOR	AJUSTE DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	1	$5,86	$10,00	$10,00	$15,86	
	AÑO 5	MOTOR	REVISIÓN DEL SISTEMA DE ENCENDIDO	1	$2,02	$30,00	$30,00	$32,02	$32,02
	AÑO 5	MOTOR	REVISIÓN DEL MOTOR	8	$10,00	$40,00	$320,00	$330,00	$841,60
	AÑO 5	MOTOR	CALIBRACIÓN DE VÁLVULAS DE ADMISIÓN Y ESCAPE	1	$91,60	$60,00	$60,00	$151,60	
	AÑO 5	MOTOR	CAMBIO DE BASES DEL MOTOR	1	$300,00	$60,00	$60,00	$360,00	
	AÑO 5	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	1	$155,45	$40,00	$40,00	$195,45	$13.257,36
	AÑO 5	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE ACEITE DEL DIFERENCIAL	1	$89,68	$40,00	$40,00	$129,68	
	AÑO 5	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE ACEITE DEL TANDEM	1	$709,27	$40,00	$40,00	$749,27	
	AÑO 5	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	1	$71,45	$20,00	$20,00	$91,45	
	AÑO 5	TRANSMISIÓN	AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	1	$22,20	$10,00	$10,00	$32,20	
	AÑO 5	TRANSMISIÓN	AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DEL DIFERENCIAL	1	$18,53	$10,00	$10,00	$28,53	
	AÑO 5	TRANSMISIÓN	AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE DEL TANDEM	1	$22,21	$10,00	$10,00	$32,21	
	AÑO 5	TRANSMISIÓN	REPARACIÓN DE LA TRANSMISIÓN	1	$2.500,00	$350,00	$350,00	$2.850,00	
	AÑO 5	TRANSMISIÓN	REPARACIÓN DEL DIFERENCIAL	1	$3.000,00	$350,00	$350,00	$3.350,00	
	AÑO 5	TRANSMISIÓN	REPARACIÓN DEL TANDEM	1	$1.187,53	$200,00	$200,00	$1.387,53	
	AÑO 5	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE CRUCETAS DEL CARDÁN	1	$57,41	$50,00	$50,00	$107,41	
	AÑO 5	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE NEUMÁTICO	1	$3.875,96	$20,00	$20,00	$3.895,96	
	AÑO 5	TRANSMISIÓN	REPARACIÓN DE NEUMÁTICO	4	$2,50	$15,00	$60,00	$62,50	
	AÑO 5	TRANSMISIÓN	CAMBIO DE TUBO DE NEUMÁTICO	1	$325,17	$20,00	$20,00	$345,17	
	AÑO 5	DIRECCIÓN	REPARACIÓN DEL ORBITROL	1	$150,00	$100,00	$100,00	$250,00	$420,00
	AÑO 5	DIRECCIÓN	CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE DEL ORBITROL	1	$20,00	$40,00	$40,00	$60,00	
	AÑO 5	DIRECCIÓN	CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE DEL GATO HIDRÁULICO DE LA DIRECCIÓN	1	$60,00	$50,00	$50,00	$110,00	
	AÑO 5	ELÉCTRICO	REVISIÓN SISTEMA ELÉCTRICO	2	$15,13	$40,00	$80,00	$95,13	$1.232,90
	AÑO 5	ELÉCTRICO	REVISIÓN DE LUCES	1	$10,00	$40,00	$40,00	$50,00	
	AÑO 5	ELÉCTRICO	CAMBIO DE FOCOS	4	$12,86	$10,00	$40,00	$52,86	
	AÑO 5	ELÉCTRICO	AJUSTE DE NIVEL DE ELECTROLITO EN LA BATERÍA	1	$3,00	$10,00	$10,00	$13,00	
	AÑO 5	ELÉCTRICO	REPARACIÓN DE ALTERNADOR	1	$20,00	$40,00	$40,00	$60,00	
	AÑO 5	ELÉCTRICO	REPARACIÓN DE MOTOR DE ARRANQUE	1	$168,00	$40,00	$40,00	$208,00	
	AÑO 5	ELÉCTRICO	CAMBIO DE FUSIBLES	4	$2,00	$40,00	$160,00	$162,00	
	AÑO 5	ELÉCTRICO	CAMBIO DE CARBONES DE ALTERNADOR	1	$23,18	$40,00	$40,00	$63,18	
	AÑO 5	ELÉCTRICO	CAMBIO DE BATERÍA	1	$494,76	$10,00	$10,00	$504,76	
	AÑO 5	ELÉCTRICO	CAMBIO DE BORNES DE BATERÍA	1	$13,97	$10,00	$10,00	$23,97	
	AÑO 5	HIDRÁULICO	CAMBIO DE ACEITE HIDRÁULICO	1	$1.022,74	$300,00	$300,00	$1.322,74	$6.354,24
	AÑO 5	HIDRÁULICO	CAMBIO DE FILTRO HIDRÁULICO	1	$60,00	$30,00	$30,00	$90,00	
	AÑO 5	HIDRÁULICO	AJUSTE DE NIVEL DE ACEITE HIDRÁULICO	5	$280,97	$10,00	$50,00	$330,97	
	AÑO 5	HIDRÁULICO	REVISIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	5	$2,02	$40,00	$200,00	$202,02	
	AÑO 5	HIDRÁULICO	CORRECCIÓN DE FUGAS DE ACEITE HIDRÁULICO	5	$769,46	$50,00	$250,00	$1.019,46	
	AÑO 5	HIDRÁULICO	CAMBIO DE KIT DE SELLOS DE GATOS HIDRÁULICOS	2	$436,11	$80,00	$160,00	$596,11	
	AÑO 5	HIDRÁULICO	CAMBIO DE MANGUERA HIDRÁULICA	4	$408,88	$20,00	$80,00	$488,88	
	AÑO 5	HIDRÁULICO	CAMBIO DE SOLENOIDE	1	$594,06	$60,00	$60,00	$654,06	
	AÑO 5	HIDRÁULICO	REPARACIÓN DE BOMBA HIDRÁULICA	1	$1.500,00	$150,00	$150,00	$1.650,00	
	AÑO 5	CHASIS Y CARROCERIA	SUELDAS VARIAS	1	$44,53	$50,00	$50,00	$94,53	$5.170,07
	AÑO 5	CHASIS Y CARROCERIA	EXTRACCIÓN DE PERNOS ROTOS	1	$44,53	$50,00	$50,00	$94,53	
	AÑO 5	CHASIS Y CARROCERIA	REPARACIÓN DE HOJA VERTEDERA	1	$925,42	$250,00	$250,00	$1.175,42	
	AÑO 5	CHASIS Y CARROCERIA	CAMBIO DE BUJES, PINES Y BOCINES	1	$150,00	$100,00	$100,00	$250,00	
	AÑO 5	CHASIS Y CARROCERIA	CAMBIO DE GRASEROS	4	$15,00	$10,00	$40,00	$55,00	
	AÑO 5	CHASIS Y CARROCERIA	REPARACIÓN DEL ESCARIFICADOR	1	$ 2.395,39	$250,00	$250,00	$2.645,39	
	AÑO 5	CHASIS Y CARROCERIA	ENGRASADO DEL EQUIPO	48	$351,01	$10,00	$480,00	$831,01	
	AÑO 5	CHASIS Y CARROCERIA	USO DE WIPE	12	$24,19	$0,00	$0,00	$24,19	

Fuente: Autores

Anexo 3 Diagramas de dispersión concernientes al Rodillo

Fuente: Autores