



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

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO, PARA LA REDUCCIÓN DE
FALLAS EN MAQUINARIA PESADA, EN UNA EMPRESA QUE BRINDA SERVICIO DE
MONTAJE Y TRANSPORTE INDUSTRIAL**

Carlos Alberto de la Cruz Carranza

Asesorado por el Ing. Julio César Rivera Peláez.

Guatemala, mayo de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO, PARA LA REDUCCIÓN DE FALLAS EN MAQUINARIA PESADA, EN UNA EMPRESA QUE BRINDA SERVICIO DE MONTAJE Y TRANSPORTE INDUSTRIAL

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CARLOS ALBERTO DE LA CRUZ CARRANZA
ASESORADO POR EL ING. JULIO CÉSAR RIVERA PELÁEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, MAYO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

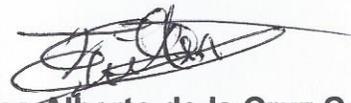
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Edwin Josué Ixpata Reyes
EXAMINADOR	Ing. Erwin Danilo González Trejo
EXAMINADOR	Ing. Sergio Antonio Torres Méndez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magali Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO, PARA LA REDUCCIÓN DE FALLAS EN MAQUINARIA PESADA, EN UNA EMPRESA QUE BRINDA SERVICIO DE MONTAJE Y TRANSPORTE INDUSTRIAL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 20 de agosto de 2018.



Carlos Alberto de la Cruz Carranza

Ing. Juan José Peralta Dardón.
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial. a.i.
Facultad de Ingeniería.
U.S.A.C.
Presente.

Estimado Ingeniero Juan José Peralta Dardón.

Por este medio, hago constar que yo, el Ingeniero Mecánico Industrial Julio César Rivera Peláez, con colegiado número un mil doscientos veinticinco (1225), doy como visto bueno el desarrollo del trabajo de investigación final de graduación del alumno Carlos Alberto de la Cruz Carranza, identificado con CUI 2757 75828 0101, alumno a quien he podido apoyar como asesor de su protocolo de tesis.

Dando por concluido el desarrollo de la misma investigación y planteando las soluciones inmediatas y efectivas para el beneficio de la empresa donde se desarrolló la misma.

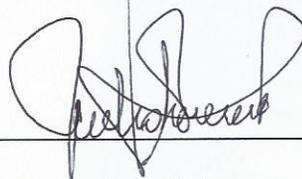
Doy por concluido de forma eficiente ante mi persona el desarrollo de su trabajo de investigación, como tema: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO, PARA LA REDUCCIÓN DE FALLAS EN MAQUINARIA PESADA, EN UNA EMPRESA QUE BRINDA SERVICIO DE MONTAJE Y TRANSPORTE INDUSTRIAL.**

Línea de investigación: administración de operaciones.

Área: estrategia de operaciones en un entorno global.

Aprovecho la oportunidad para expresarle mi consideración.

Atentamente.



ING. MECANICO INDUSTRIAL
JULIO CESAR RIVERA PELAEZ
COLEGIADO No. 1225

Ingeniero Julio César Rivera Peláez.

Colegiado número 1225.



REF.REV.EMI.021.019

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO, PARA LA REDUCCIÓN DE FALLAS EN MAQUINARIA PESADA, EN UNA EMPRESA QUE BRINDA SERVICIO DE MONTAJE Y TRANSPORTE INDUSTRIAL**, presentado por el estudiante universitario **Carlos Alberto de la Cruz Carranza**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

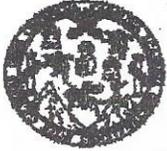
“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Julio Oswaldo Rojas Argueta
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Julio O. Rojas Argueta
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado 10,870

Guatemala, marzo de 2019.

/mgp



REF.DIR.EMI.067.019

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **DISEÑO DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO, PARA LA REDUCCIÓN DE FALLAS EN MAQUINARIA PESADA, EN UNA EMPRESA QUE BRINDA SERVICIO DE MONTAJE Y TRANSPORTE INDUSTRIAL**, presentado por el estudiante universitario **Carlos Alberto de la Cruz Carranza**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

**Ing. Cesar Ernesto Urquiza Rodas
DIRECTOR a.i.**

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, mayo de 2019.

/mgp

Universidad de San Carlos
De Guatemala

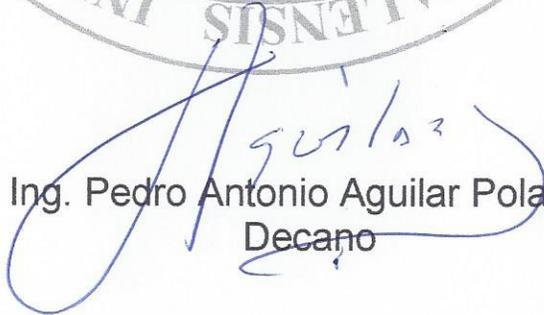


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.208-2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial del trabajo de graduación titulado: **"DISEÑO DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO, PARA LA REDUCCIÓN DE FALLAS EN MAQUINARIA PESADA, EN UNA EMPRESA QUE BRINDA SERVICIO DE MONTAJE Y TRANSPORTE INDUSTRIAL"**, presentado por el estudiante: **Carlos Alberto de la Cruz Carranza** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, mayo de 2019

/echm

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Padre misericordioso, dador de sabiduría y entendimiento.
Mis abuelos	Carlos Rafael Carranza Catalan y Marta Estela Olived viuda de Carranza, siendo dadores de vida y ejemplo en la academia.
Mis padres	Juan Alberto de la Cruz Santos y Ana María Carranza Dorantes, ejemplos de perseverancia, trabajo, disciplina y amor.
Mis papitos	Zenón Much de la Cruz y Margarita Santos Gómez, quienes con sabiduría, tiempo y paciencia lograron criarme con su inmenso amor.
Mis hermanos	Claudia Lorena de la Cruz Carranza, siendo más que una hermana, fue el hombro que fortaleció mi crecimiento y espíritu día tras día, Héctor Alberto de la Cruz Ruano, Francisco Javier Carranza y Brenda Estela Carranza, siendo mis hermanos menores, esperando ser ejemplo de superación.

Mis tíos

Más que tíos biológicos, fueron precursores de mi desarrollo académico e intelectual.

Mi madrina

Quien se preocupará que día tras día, logrará ser una persona adulta con los fundamentos de ética, disciplina, educación y moral de agradecimiento.

Mis primos

Francisco, Kevin y Reyna Much Guerra, a quienes los veo como mis hermanos menores, siempre de la mano en las buenas y malas, a cada uno de todos mis primos por ser especiales en mi mente y pensamientos.

Mis sobrinas

Agradeciendo a dios en especial, ser parte del desarrollo y crecimiento de sophia de la Cruz Carranza, ya que ella fue el impacto de mayor relevancia a mi vida, aby Carranza mi niña linda, aunque con poco tiempo de convivencia también estas en mis pensamientos y mi corazón.

Mis hijos

A quienes no he podido disfrutar, pero llegará el día en que podamos convivir.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por brindarme la oportunidad de cumplir mis objetivos académicos y ser una universidad al servicio del pueblo.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme los conocimientos y la oportunidad de ser un profesional al servicio de mi familia y mi país.
Catedráticos	Por compartir sus conocimientos, experiencias y formulaciones simples de cómo llegar a ser un excelente profesional.
Asesor	Ing. Julio César Rivera, por su ayuda y apoyo al asesorar mi trabajo de graduación.
MOVECO	Empresa que me abrió las puertas y confió en mi trabajo de investigación.
Mis amigos	Por todos los momentos que vivimos y seguiremos viviendo juntos.

	1.2.3.1.4.	Montacargas	7
	1.2.3.1.5.	Remolques.....	7
	1.2.3.2.	Transporte de carga de origen a destino	8
	1.2.3.2.1.	Portacontenedores de 2´ hasta 53´	8
	1.2.3.2.2.	Camiones desde 3 toneladas hasta 20 toneladas	8
1.2.4.		Ingeniería.....	9
	1.2.4.1.	Diseño y planificación de proyectos.....	9
	1.2.4.2.	Coordinación de traslados de carga sobredimensionada	9
	1.2.4.3.	Ejecución de proyectos industriales.....	9
	1.2.4.4.	Diseños de planes de izajes	9
	1.2.4.5.	Cálculos para reforzamiento de puentes.....	10
	1.2.4.6.	Refuerzo de puentes y estructuras para soporte de cargas extrapesadas.....	10
1.2.5.		Grúas	10
	1.2.5.1.	Grúas telescópicas.....	10
	1.2.5.1.1.	De 20 hasta 500 toneladas	10
	1.2.5.2.	Grúas torre	11
	1.2.5.2.1.	De 35 hasta 85 metros de pluma	11
	1.2.5.2.2.	Capacidad hasta 80 toneladas	12

1.2.6.	Maquinaria pesada	13
1.2.6.1.	Maquinaria pesada para construcción	13
1.2.6.1.1.	Bulldozer	13
1.2.6.1.2.	Escrepas	14
1.2.6.1.3.	Vagones de vaciado	14
1.2.6.1.4.	Martillos rompedores	15
1.2.6.1.5.	Transportadores de banda	16
1.2.6.1.6.	Compactador de rellenos.....	17
1.2.6.1.7.	Vibrador	18
1.2.6.1.8.	Draga	19
1.2.6.1.9.	Retroexcavadora.....	19
1.2.6.1.10.	Ollas para concreto.....	20
1.2.6.1.11.	Revolvedoras	21
1.2.6.1.12.	Pala mecánica	21
1.2.6.2.	Maquinaria pesada para el movimiento de tierra	22
1.2.6.2.1.	Tractores	22
1.2.6.2.2.	Cargadores	23
1.2.6.2.3.	Excavadoras	23
1.2.6.2.4.	Moto conformadoras	24
1.2.6.2.5.	Compactadores.....	25
1.2.6.2.6.	Compresores	26
1.2.6.2.7.	Perforadoras	26
1.2.6.2.8.	Trituradoras.....	27
1.2.6.2.9.	Pipas o cisternas.....	28
1.2.6.2.10.	Pavimentadora.....	29

1.3.	Estructura organizacional	30
1.3.1.	Representación gráfica de la estructura organizacional.....	31
1.3.2.	Descripción de puestos	31
1.4.	Higiene.....	32
1.4.1.	Definición de higiene	32
1.4.2.	Higiene personal en el área de trabajo	32
1.4.3.	Equipo de protección personal (EPP)	33
1.5.	Peligros	33
1.5.1.	Definición de peligro	33
1.5.2.	Etapas de prevención de peligros	33
1.6.	Mantenimiento	34
1.6.1.	Definición de mantenimiento	34
1.6.2.	Características.....	34
1.6.3.	Tipos de mantenimiento	35
1.6.3.1.	Preventivo.....	35
1.6.3.2.	Correctivo	36
1.6.3.3.	Predictivo.....	36
2.	SITUACIÓN ACTUAL	37
2.1.	Departamento de planificación de proyectos	37
2.1.1.	Estimación de tiempos de duración de los proyectos	37
2.1.2.	Análisis geográfico para ejecución de proyectos	37
2.1.3.	Análisis económico para ejecución de proyectos ...	38
2.2.	Departamento de ejecución de proyectos	38
2.2.1.	Supervisión en la obra.....	38
2.2.2.	Supervisión en traslado de equipo	39
2.2.3.	Supervisión en montaje industrial	39

2.3.	Departamento de dibujo y planos	40
2.3.1.	Diseños de planos	40
2.3.2.	Planos a medida según el cliente.....	40
2.3.3.	Mejoras y propuestas	41
2.4.	Departamento de ingeniería	41
2.4.1.	Estudios económicos.....	41
2.4.1.1.	Inversiones	43
2.4.1.2.	Gastos totales.....	44
2.4.1.3.	Costos.....	44
2.4.1.4.	Ingresos.....	45
2.4.2.	Coordinación de proyectos	45
2.4.2.1.	Nociones básicas	45
2.4.2.2.	Empleados.....	46
2.4.2.3.	Software	46
2.4.2.4.	Consideraciones.....	47
2.4.2.5.	Dirección.....	47
2.4.3.	Cálculos de reforzamientos de estructuras	48
2.4.4.	Cálculos de reforzamientos de puentes	48
2.4.4.1.	Evaluación	49
2.4.4.2.	Estudio de las causas	49
2.4.4.3.	Selección de métodos y materiales	50
2.4.4.4.	Preparar memorias de diseño, planos y especificaciones.....	50
2.4.4.5.	Ejecutar la reparación	50
2.4.4.6.	Acciones más comunes de refuerzo	51
2.4.5.	Logística de traslado de cargas extradimensionadas.....	51
2.4.6.	Logística de ensamble de estructuras industriales.....	51

2.5.	Departamento de mercadeo	51
2.5.1.	Información de servicios a prestar	52
2.5.2.	Información de proyectos	52
2.6.	Departamento de seguridad e higiene industrial.....	53
2.6.1.	Salud y seguridad ocupacional.....	53
2.6.2.	Capacitaciones	54
2.6.3.	Equipo de protección personal	54
2.7.	Departamento de mantenimiento	54
2.7.1.	Bodega de predio	54
2.7.2.	Taller de reparaciones en predio.....	54
2.7.3.	Mecánicos.....	55
2.7.4.	Ayudantes.....	55
3.	PROPUESTA PARA DISEÑAR UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	57
3.1.	Planificación.....	57
3.1.1.	Maquinaria pesada	57
3.1.2.	Unidades de transporte	57
3.1.3.	Montacargas	58
3.2.	Organización propuesta.....	58
3.2.1.	Área administrativa	58
3.2.2.	Área mecánica.....	59
3.2.3.	Departamento de mantenimiento	59
	3.2.3.1. Cotización y compra de repuestos.....	59
	3.2.3.2. Cotización y compra de lubricantes	60
	3.2.3.3. Cotización y compra de grasas.....	60
3.3.	Ejecución técnica	60
3.3.1.	Proyecciones según calendario.....	60
3.3.2.	Proyecciones según tiempo de trabajo	61

3.3.3.	Proyecciones según horas de trabajo	61
3.4.	Importancia del mantenimiento predictivo	61
3.4.1.	Ingeniería administrativa del mantenimiento	63
3.4.2.	Fuentes de falla en una máquina	65
3.4.2.1.	La máquina o equipo mismo	65
3.4.2.2.	El ambiente circundante	65
3.4.2.3.	El personal que interviene	66
3.4.3.	Técnicas principales en las que se basa el mantenimiento predictivo	68
3.4.4.	Factores del mantenimiento predictivo	68
3.5.	Procedimiento para implementar un programa de mantenimiento predictivo	70
3.6.	Importancia de planear el mantenimiento	71
3.7.	Motores de combustión interna	72
3.8.	Lubricación	73
3.8.1.	Lubricación de película fluida	73
3.8.2.	Lubricación mixta	74
3.8.3.	Lubricación limite	74
3.8.4.	Propiedades de los lubricantes	77
3.8.5.	Factores que afectan la lubricación	79
3.9.	Análisis de aceite en laboratorio	80
3.9.1.	¿Qué es el análisis de aceite?	80
3.9.2.	Objetivos del análisis de aceite	82
3.9.3.	Análisis y descripción de las principales pruebas ...	83
3.9.2.1.	Viscosidad	83
3.9.2.2.	Análisis infrarrojo	84
3.9.3.	Métodos y procedimientos para obtener muestras representativas	85
3.10.	Frecuencia de muestreo	89

3.10.1.	Frecuencias recomendadas	90
3.10.2.	Procesamiento inicial y depuración de la información	90
3.10.3.	Tabla de desgaste permisible.....	91
3.10.4.	Determinación del tiempo de vida útil de un motor.....	91
3.10.5.	Interpretación de resultados	92
3.10.6.	Rangos de resultados y acciones propuestos.	94
3.10.7.	Causas y efectos de una viscosidad mayor o menor a lo establecido por el fabricante	95
	3.10.7.1. Causas de viscosidad alta	95
	3.10.7.2. Causas de viscosidad baja	96
3.11.	Guía de mantenimiento de neumáticos.....	96
	3.11.1. Clasificación de fallas	97
3.12.	Taller mecánico.....	97
3.13.	Bodega.....	97
3.14.	Actividades diarias antes de encender la maquinaria	97
3.15.	Actividades antes de traslado.....	98
3.16.	Factores que influyen en las rutinas de mantenimiento.....	98
3.17.	Hojas de control y supervisión.....	101
3.18.	Historial de reparaciones	101
	3.18.1. Objetivos del historial.....	101
	3.18.2. Recolección de datos y su almacenamiento	101
	3.18.3. Fichas técnicas	102
	3.18.3.1. Maquinaria pesada.....	102
	3.18.3.2. Vehículos livianos.....	102
	3.18.3.3. Grúas tipo torre	102
	3.18.4. Control de reparaciones	103
3.19.	Capacitación al personal.	103

3.19.1.	Administrativo	103
3.19.2.	Mecánicos.....	103
3.19.3.	Supervisores.....	104
3.20.	Costos de rutinas de mantenimiento	104
3.20.1.	Componente del costo de mantenimiento.....	104
3.20.2.	Análisis de casos prácticos.....	105
3.20.2.1.	Motor.....	105
3.20.3.	Maquinaria pesada	107
3.20.3.1.	Lubricantes	107
3.20.3.2.	Mano de obra	107
3.20.3.3.	Repuestos	108
3.20.4.	Grúas tipo torre.....	108
3.20.4.1.	Lubricantes	108
3.20.4.2.	Mano de obra	108
3.20.4.3.	Repuestos	108
4.	IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA.....	109
4.1.	Sistema de clasificación de fallas recurrentes.....	109
4.1.1.	Metodología del sistema de mantenimiento predictivo.....	109
4.2.	Clasificación de fallas reportadas con factor recurrente	109
4.2.1.	Fallas por desgaste	109
4.2.2.	Fallas por fractura.....	111
4.2.3.	Fallas por fatiga superficial.....	113
4.2.4.	Fallas por flujo plástico	115
4.3.	Factores administrativos que inciden en fallas mecánicas recurrentes	116
4.3.1.	Repuestos y lubricantes	116
4.3.1.1.	Cotización previa	116

	4.3.1.2.	Ejecución de compra.....	116
4.3.2.		Mecánico	117
	4.3.2.1.	Stock actualizado de inventario	117
	4.3.2.2.	Cronograma de rotación de inventario.....	118
4.3.3.		Supervisor de mantenimientos.....	123
	4.3.3.1.	Tiempos estimados de reparación	123
	4.3.3.2.	Reducción de costos de mano de obra	123
4.4.		Factores ambientales que inciden en fallas mecánicas recurrentes.....	125
	4.4.1.	Análisis diario del sistema atmosférico	125
4.5.		Factores de riesgo que afectan los traslados de carga industrial.....	125
	4.5.1.	Cálculos y especificaciones de carga a trasladar .	125
	4.5.2.	Estado físico y mecánico de unidades para traslado y de grúas tipo torre.....	126
4.6.		Factores de riesgo en operación de grúas tipo torre.....	126
	4.6.1.	Cálculos y diseños de operación y montaje	127
	4.6.2.	Destreza del personal a cargo de la operatividad de las torres	127
	4.6.3.	Estado físico y mecánico de las grúas tipo torre...	127
4.7.		Sistema de documentación y registro	127
	4.7.1.	Ingreso a predio.....	128
	4.7.2.	Egreso de predio	128
	4.7.3.	Ingreso a proyecto	128
	4.7.4.	Egreso de proyecto.....	128
	4.7.5.	Plan de ruta de traslado	128
	4.7.6.	Seguridad industrial	128

	4.7.6.1.	Equipo de protección personal.....	129
	4.7.6.2.	Equipo de señalización	129
	4.7.6.3.	Radio de comunicación en estado operativo	129
	4.7.6.4.	Cinturones de seguridad	129
	4.7.6.5.	Extintores.....	130
		4.7.6.5.1. Inventario y clasificación.....	130
4.8.		Costos debidos a la mejora de mantenimientos.....	130
	4.8.1.	Suministros de repuestos	130
	4.8.2.	Rotación de inventario	131
	4.8.3.	Mano de obra.....	131
4.9.		Beneficios esperados en la reducción de fallas inesperadas.	131
	4.9.1.	Aumento de tiempo efectivo en proyectos	131
	4.9.2.	Reducción de costos en compras de repuestos ...	131
	4.9.3.	Eliminar los paros inesperados de la maquinaria pesada	132
	4.9.4.	Aumento de utilidades de la empresa	132
	4.9.5.	Proveer de seguridad operativa al recurso humano.....	132
4.10.		Beneficios y costos	132
5.		MEJORA CONTINUA O SEGUIMIENTO	135
	5.1.	Control y seguimiento del programa de mantenimiento.....	135
	5.2.	Supervisión constante en informes detallados de los pedidos para taller	135
		5.2.1. Estadística de controles de los resultados de los mantenimientos.....	135

5.2.2.	Revisión y análisis en la implementación de la propuesta.....	137
5.3.	Revisión programada periódicamente del programa de mantenimiento	137
5.4.	Evaluación del desempeño del personal a cargo del mantenimiento	137
5.5.	Mejora continua en la gestión.....	138
5.6.	Análisis de la información	138
5.7.	Cronograma de revisión de la maquinaria pesada.....	139
5.8.	Retroalimentación entre personal encargado de la gestión de mantenimiento	140
5.9.	Evaluación de resultados.....	140
5.10.	Mejoras en el programa de mantenimiento	141
5.11.	Registro de piezas que han presentado fallas mecánicas	142
CONCLUSIONES.....		143
RECOMENDACIONES		145
BIBLIOGRAFÍA.....		147
APÉNDICES		149
ANEXOS.....		153

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Logística.....	3
2.	Transportes terrestres	4
3.	Montajes industriales	4
4.	Carga sobredimensionada.....	5
5.	Carga extra pesada	6
6.	Remolque plataforma baja.....	6
7.	Montacargas	7
8.	Remolques.....	8
9.	Grúas telescópicas	11
10.	Grúas torre.....	12
11.	Bulldozer.....	13
12.	Escrepas.....	14
13.	Vagones de vaciado	15
14.	Martillos rompedores	16
15.	Transportadores de banda	17
16.	Compactador de rellenos.....	18
17.	Vibrador.....	18
18.	Draga.....	19
19.	Retroexcavadora Caterpillar 320c	20
20.	Olla para concreto.....	20
21.	Revolvedoras.....	21
22.	Caterpillar 966.....	22
23.	John Deere 6323.....	23

24.	Excavadora hidráulica 313D.....	24
25.	Caterpillar 12H.....	25
26.	Caterpillar CCS9.....	25
27.	SULLAIR 900H.....	26
28.	Perforadoras.....	27
29.	UNTHA RS30.....	28
30.	Pipas o cisternas.....	29
31.	Caterpillar AP300.....	30
32.	Organigrama.....	31
33.	Tendencia de desgaste	94
34.	Desgaste por fricción	110
35.	Desgaste por lubricación	110
36.	Desgaste por carga y rodamiento	111
37.	Ruptura por sobrecarga.....	111
38.	Fisura por fatiga.....	112
39.	Fisura por fatiga.....	112
40.	Fisuras por vibraciones.....	113
41.	Fractura por sobre esfuerzo	114
42.	Falla por corrosión	114
43.	Revisión toma de aire	115
44.	Modelo de inventario determinístico.....	119
45.	Manejo de repuestos en bodega de la empresa	122

TABLAS

I.	Aditivos comunes de lubricantes y sus elementos asociados	82
II.	Valores de referencia.....	87
III.	Especificación de frecuencias recomendadas	90
IV.	Valores de referencia de ppm.....	91

V.	Tendencia de desgaste de las muestras vs. Ideal	93
VI.	Insumos y mano de obra del mantenimiento.....	105
VII.	Datos.....	122
VIII.	Programa de implementación de proyecto	123
IX.	Clasificación de costos por hora	124
X.	Estado físico y mecánico de unidades para traslado y de grúas tipo torre.....	126

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°C	Grados centígrados o Celsius
Kg	Kilogramo
KW	Kilovatio es una medida de potencia eléctrica equivalente a 1 000 vatios
m	Metro
µm	Micrómetro
mm	Milímetro
nm	Nanómetro
Nm	Newton metro, unidad de medida de esfuerzo de torsión
%	Porcentaje
CSt	Unidad física de la viscosidad cinemática en el sistema CGS
η	Viscosidad absoluta (lb _m /pie*h)

GLOSARIO

AGMA	Asociación Americana de Fabricantes de Engranajes.
AISE	Asociación de Ingenieros del Hierro y Acero.
ASTM	Asociación Americana de Ensayos de Materiales.
Bitácora técnica	Permite llevar un registro por escrito de diversas acciones.
Cíclico	Algo que se reitera de manera periódica.
COVENIN	Comisión Venezolana de Normas Industriales.
Desgaste	Erosión de material que sufre una superficie sólida debido a la acción de otra superficie.
Diagnóstico	Reunir datos para analizarlos e interpretarlos, permitiendo evaluar una cierta condición.
Eficiencia	Lograr los resultados con el mínimo de recursos posibles.
EPP	Equipo de protección personal.
FIM	Ficha de inspección de mantenimiento.

FIT	Ficha de inspección de transporte.
Hidrodinámica	Es una parte de la dinámica que estudia el movimiento de los líquidos en relación con las causas que lo originan.
Molécula	Es la partícula más pequeña que presenta todas las propiedades físicas y químicas de una sustancia, y se encuentra formada por dos o más átomos.
Odómetro	Aparato que mide la distancia recorrida por un vehículo.
Horómetro	Dispositivo que registra el número de horas en que un motor o un equipo, generalmente eléctrico o mecánico ha funcionado.
Potencia	Cantidad de trabajo efectuado por unidad de tiempo.
Stock	Registro documental de los bienes y demás cosas pertenecientes a una persona, empresa o comunidad.

RESUMEN

La empresa presenta debilidad en la programación de sus mantenimientos, con relación a las funciones y responsabilidades del recurso humano, se tiene información variante en los antecedentes de mantenimientos, servicios y compras de repuestos, no se tiene una estandarización de precios para compra de repuestos, lubricantes o accesorios.

Así como los inventarios no se encuentran actualizados, tampoco se tiene un informe detallado de cómo se encuentra la maquinaria al día, se están perdiendo recursos económicos en la subcontratación de mecánicos, y se estima que se está elevando los precios de los repuestos que se van necesitando.

No se cuenta con un plan estratégico de mantenimiento predictivo, tampoco un cálculo de relación tiempo-trabajo de la maquinaria, se tienen desperfectos mecánicos y fugas en los sistemas hidráulicos de la maquinaria.

No se cuenta con historial detallado de lo que se le ha realizado a la maquinaria, tanto la maquinaria que es propiedad de la empresa, como la maquinaria que se está subrentando.

No se tienen fichas técnicas para ir detallando los servicios y cambios que se van realizando a cada maquinaria, no se tiene disponibilidad del recurso humano mecánico para disponer en trabajos urgentes.

Dentro del mantenimiento predictivo se define, donde y cuando se puede realizar, establecer la ruta crítica de operación de la maquinaria, si la misma se encuentra en el predio de la empresa, o pudiese estar en obra, si la maquinaria se encuentra en predio, programar las fechas próximas a sus servicios menores, medios y mayores, si la maquinaria está en obra, establecer que los días sábados después de medio día y día domingo si se amerita pudiese ser cuando se realicen dichos mantenimientos.

Se definirían que comprende cada uno de los diferentes servicios, que corresponde a servicio menor, medio y mayor.

Se definirían las prioridades en las maquinarias, si son propiedad de la empresa, o arrendadas; si son arrendadas, establecer de conformidad con las responsabilidades del proveedor, hasta donde cubre sus funciones o responsabilidades en mantenimiento y reparaciones.

Cuando es un mantenimiento correctivo inmediato, establecer una tabla de posibles fallas, incluyendo los costos que se necesiten cubrir, los tiempos estimados de reparación, y para recibir los repuestos.

Se debe tener un personal que sea capaz de interpretar los datos que generan los equipos y tomar conclusiones con base en ellos, trabajo que requiere un conocimiento técnico elevado de la aplicación.

OBJETIVOS

General

Diseñar un sistema de mantenimiento predictivo, para la reducción de fallas en maquinaria pesada, en una empresa que brinda servicios de montaje y transporte industrial.

Específicos

1. Estandarizar los procedimientos en los mantenimientos programados a la maquinaria pesada y de transporte, por medio del diseño de guías de trabajo para los mecánicos.
2. Crear un inventario actualizado de *stock* de repuestos, para la disminución de tiempos en reparación.
3. Establecer el inventario inicial en *stock* de bodega, clasificando los repuestos, de menor a mayor demanda, en función de las fallas repetitivas y frecuentes que presente la maquinaria pesada y las unidades de transporte pesado.
4. Diseñar una proyección de mantenimiento para la maquinaria pesada y de transporte, de acuerdo a las especificaciones técnicas del fabricante de los repuestos para evitar que la misma presente fallas mecánicas en desgastes.

5. Diseñar la guía de mantenimiento predictivo, estableciendo los procedimientos a seguir, realizar revisiones físicas externas a la maquinaria pesada, indicando si se necesita realizar lubricación o sustitución de una o varias piezas mecánicas, diseñarlo de forma clara y precisa para que pueda ser de fácil entendimiento por el mecánico de taller.

6. Definir donde y cuando se pueden realizar los mantenimientos, estableciendo la ruta crítica de operación de la maquinaria, si la misma se encuentra en el predio de la empresa, o pudiese estar trabajando en obra.

7. Diseñar el archivo electrónico y digital, que contenga la información completa al implementar esta propuesta, incluyendo el resumen de las fallas encontradas y el inicio de las reparaciones a realizar en todas las unidades de maquinaria pesada y de transporte, para lograr establecer las fechas próximas a sus servicios de mantenimientos predictivos, anticipándose a alguna posible falla.

INTRODUCCIÓN

La empresa MOVECO, S.A. se dedica a realizar traslados de carga pesada, montajes y desmontajes industriales, servicio de arrendamiento de maquinaria, de carga, transporte pesado y maquinaria pesada.

La relevancia e importancia de la empresa, está en satisfacer las necesidades de los clientes, los cuales necesitan servicios inmediatos para resolver sus problemas logísticos y técnicos, también para satisfacer las necesidades de proyectos dentro y fuera del país.

MOVECO día a día presenta mayor demanda, esta calidad de trabajo es el reflejo de la eficiencia en tiempos proyectados para concluir con lo demandado, así como la calificación profesional de su personal, a la fecha se encuentra atendiendo más de 10 proyectos al mismo tiempo, solo en el área nacional, ubicando estratégicamente su personal y maquinaria.

En el entorno industrial guatemalteco, el mayor problema es el incumplimiento de tiempos establecidos para ejecutar los proyectos, que pueden ser afectados de una forma directa por el mal estado y funcionamiento de la maquinaria que se está arrendando, los problemas principales provienen por sus mantenimientos que no han sido calendarizados, y no se cuenta con un estado inicial del inventario de la maquinaria.

Se propone un programa de mantenimiento predictivo para maquinaria pesada, como herramienta ejecutable de forma temprana, a través del cual se podrán reducir elevados costos de operación de la maquinaria pesada.

El programa se sustenta ante el repetitivo índice de fallas en la maquinaria pesada, fallas de magnitud relevante, que ocasionan el paro total de las mismas.

1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA

1.1. Empresa MOVECO, S.A.

Es una empresa guatemalteca que nace de la necesidad de brindar un servicio de primera a clientes en el área de logística, transporte y montajes en la industria.

Cuentan con un equipo de trabajo especializado en proyectos logísticos integrales, desde transporte en origen hasta su destino final, incluyendo descarga o montaje sobre su base o fundamento.

1.1.1. Ubicación

MOVECO, siendo una empresa en constante movimiento y desarrollo de proyectos, se encuentra posicionada en ejecución de obras en Guatemala y países centroamericanos, su ubicación actual es la 7ma calle 30-27 zona 11, Colonia El Zompopero, Guatemala, C.A.

1.1.2. Historia

MOVECO, se constituye como empresa de tipo Sociedad Anónima, siendo su enfoque, satisfacer las necesidades y exigencias industriales de traslado de maquinaria pesada, se funda a principios del 2015.

1.1.3. Misión

Actualizar e innovar constantemente los métodos de trabajo, brindar capacitaciones a nuestro personal para dar opciones efectivas y funcionales que den valor a cada proyecto por realizar.

1.1.4. Visión

Ser agentes de cambio, teniendo una organización de proyectos de alta calidad en logística, renta de maquinaria pesada, grúas telescópicas y transporte terrestre, marítimo y aéreo de carga pequeña y dimensionada, desde y hacia cualquier parte del mundo, siempre siendo la primera opción para el cliente.

1.2. Servicios generales a prestar

Se presentan los diferentes servicios que presta la empresa.

1.2.1. Administración de proyectos

Conjunto de operaciones sistematizadas según la demanda de los contratistas.

1.2.1.1. Logísticos

MOVECO plantea una solución integral para compañías que presentan la necesidad de administrar sus proyectos que planean y ejecutan con simples o complejos procesos y procedimientos, que pueden requerir etapas intrincadas de varios niveles.

También utiliza logística de estimación detallada, planeación, programación, cálculo de costos y logística de la cadena de suministros para lograr un control y análisis completo de cualquier proyecto.

Figura 1. **Logística**



Fuente: MOVECO. *Ingeniería de proyectos*. www.moveco.com.gt. Consulta: 20 de noviembre de 2018.

1.2.1.2. Transportes terrestres

Provee servicio de venta y arrendamiento de transporte que cubra la necesidad de trasladar maquinaria pesada, carga sobredimensionada, extra pesada y cuadrillas de personal que se necesite suplir para algún proyecto a fin.

Figura 2. **Transportes terrestres**



Fuente: MOVECO. *Transporte de carga sobredimensionada*. www.moveco.com.gt. Consulta: 20 de noviembre de 2018.

1.2.2. **Montajes industriales**

Realiza diferentes tipos de montajes industriales, estructuras metálicas, depósitos, tuberías, maquinaria. El personal posee los conocimientos y capacidades necesarias para asegurar el correcto funcionamiento de su instalación.

Figura 3. **Montajes industriales**



Fuente: MOVECO. *Montajes Industriales*. www.moveco.com.gt. Consulta: 20 de noviembre de 2018.

1.2.3. Transporte

Maquinaria disponible para los diferentes proyectos.

1.2.3.1. Transporte con equipo especializado

Transporte ideal según la demanda del proyecto o traslado requerido.

1.2.3.1.1. Carga sobredimensionada

Transporte de carga sobredimensionada con equipos como lowboys, modulares extensibles desde 15 metros hasta 60 metros.

Figura 4. **Carga sobredimensionada**



Fuente: MOVECO. *Carga sobredimensionada*. www.moveco.com.gt . Consulta: 20 de noviembre de 2018.

1.2.3.1.2. Carga extra pesada

Presta servicio de origen a destino en plataforma y con remolques con capacidad de hasta 500 toneladas.

Figura 5. **Carga extra pesada**



Fuente: MOVECO. *Carga extra pesada*. www.moveco.com.gt. Consulta: 20 de noviembre de 2018.

1.2.3.1.3. **Remolque plataforma baja**

Presta servicio de traslado de maquinaria pesada o carga extradimensionada, con capacidades de hasta 10 metros de longitud y 60 toneladas de peso.

Figura 6. **Remolque plataforma baja**



Fuente: MOVECO. *Remolque plataforma baja*. www.moveco.com.gt. Consulta: 20 de noviembre de 2018.

1.2.3.1.4. Montacargas

Se provee los servicios de renta y venta de diferentes tipos de montacargas con capacidades de carga de 3 y 5 toneladas.

Figura 7. **Montacargas**



Fuente: MOVECO. *Montacargas*. www.moveco.com.gt. Consulta: 20 de noviembre de 2018.

1.2.3.1.5. Remolques

Presta servicio de renta y venta de diferentes tipos de remolques, remolque de 3 ejes, remolque de 4 ejes, cabezales de comando 6x6, cabezal de apoyo 8x8, tráiler modular.

Figura 8. **Remolques**



Fuente: MOVECO. *Remolques*. www.moveco.com.gt. Consulta: 20 de noviembre de 2018.

1.2.3.2. Transporte de carga de origen a destino

Según sea la demanda se utiliza una logística individual.

1.2.3.2.1. Portac contenedores de 2´ hasta 53´

Servicio de renta y venta de contenedores con dimensiones de longitud desde 20´ hasta 53´.

1.2.3.2.2. Camiones desde 3 toneladas hasta 20 toneladas

Servicio de renta y venta de camiones para traslado de equipo especializado, con capacidad de carga desde 3 toneladas hasta 20 toneladas.

1.2.4. Ingeniería

Uso y aplicación de conocimientos científicos para diseñar la mejor propuesta.

1.2.4.1. Diseño y planificación de proyectos

Provee servicio de asesoría y ejecución de proyectos, respaldado por un equipo de ingenieros y supervisores certificados altamente capacitados para brindar el mejor servicio ingenieril.

1.2.4.2. Coordinación de traslados de carga sobredimensionada

Brinda servicio logístico para brindar la ruta efectiva del traslado de carga dimensionada, realizando apoyo con carros guías y trámites especiales para transitar dentro de la república de Guatemala.

1.2.4.3. Ejecución de proyectos industriales

Se realiza la ejecución de los proyectos, según los diseños establecidos, supervisados por el personal altamente calificado.

1.2.4.4. Diseños de planes de izajes

Secuencias de planes de izajes, según la necesidad y requerimiento del cliente.

1.2.4.5. Cálculos para reforzamiento de puentes

Previamente al trabajo de campo y revisión de la necesidad planteada, se realizan cálculos para el reforzamiento con el software más moderno y exacto.

1.2.4.6. Refuerzo de puentes y estructuras para soporte de cargas extrapesadas

Refuerzo de puentes y estructuras para el soporte de carga extrapesadas, previamente realizado por el departamento de ingeniería.

1.2.5. Grúas

Unidades disponibles para izaje de cargas especializadas.

1.2.5.1. Grúas telescópicas

Grúas con capacidad de izaje de 20 toneladas hasta 500 toneladas, con operatividad de 360° sobre la vertical.

1.2.5.1.1. De 20 hasta 500 toneladas

Servicio de renta y venta de grúas telescópicas y de celosía con capacidades de carga desde 20 hasta 500 toneladas con pilotos y aparejadores certificados y capacitados para brindar un mejor servicio y satisfacer al cliente.

Figura 9. **Grúas telescópicas**



Fuente: MOVECO. *Grúas telescópicas*. www.moveco.com.gt. Consulta: 20 de noviembre de 2018.

1.2.5.2. Grúas torre

Su principal función es el izaje.

1.2.5.2.1. De 35 hasta 85 metros de pluma

Grúas torre desde 35 hasta 85 metros de pluma con una capacidad hasta 20 toneladas.

Figura 10. **Grúas torre**



Fuente: MOVECO. *Grúas Torre*. www.moveco.com.gt. Consulta: 20 de noviembre de 2018.

1.2.5.2.2. Capacidad hasta 80 toneladas

Servicio de renta y venta de grúas torre certificadas con capacidad de carga de hasta 80 toneladas.

1.2.6. Maquinaria pesada

A continuación, se muestran las unidades disponibles para satisfacer la demanda de los contratistas.

1.2.6.1. Maquinaria pesada para construcción

A continuación, se muestran las unidades disponibles para trabajar dentro y fuera de la capital.

1.2.6.1.1. Bulldozer

Equipo de trabajo de excavación y empuje compuesto por un tractor sobre orugas o sobre dos ejes neumáticos y chasis rígido o articulado y una hoja horizontal, perpendicular al eje longitudinal del tractor, situado en la parte delantera del mismo.

Figura 11. **Bulldozer**



Fuente: MOVECO. *Bulldozer*. www.caterpillar.com. Consulta: 7 de diciembre de 2018.

1.2.6.1.2. Escrepas

Máquina transportadora que tiene capacidad para excavar, autocargarse, transportar y descargar los materiales en capas uniforme.

Figura 12. **Escrepas**



Fuente: MOVECO. *Escrepas*. <https://www.clasf.mx/escrepa-de-10y-reynolds-entera-en-m%C3%A9xico-7695543/>. Consulta: 11 de diciembre de 2018.

1.2.6.1.3. Vagones de vaciado

Máquina que posee un dispositivo mecánico para volcar la carga que transporta en un cajón que reposa sobre el chasis del vehículo. La composición mecánica de la volqueta depende precisamente del volumen de material que pueda transportar el cajón.

Figura 13. **Vagones de vaciado**



Fuente: MOVECO. *Vagones de vaciado*. <http://www.movi-terra.com/Untitled-4.htm>. Consulta: 12 de diciembre de 2018.

1.2.6.1.4. Martillos rompedores

Herramienta de perforación por aire comprimido. Trabaja sobre superficies horizontales o verticales, en cuyo caso la forma se adapta para que un solo operario pueda aplicar la fuerza necesaria.

Admite la incorporación de herramientas accesorias, tales como punteros, barrenas, barrenas huecas y cinceles.

Figura 14. **Martillos rompedores**



Fuente: MOVECO. *Martillos rompedores*. <http://www.grupema.com/producto/martillo-neumatico-rompedor-tex20ps-atlas-copco/>. Consulta: 12 de diciembre de 2018.

1.2.6.1.5. Transportadores de banda

Una banda transportadora es un sistema de transporte consistente en una cinta que se mueve continuamente entre dos tambores. Esta banda es arrastrada por fricción por uno de los dos tambores, que es accionado por un motor. El otro tambor gira libremente y tiene como función el de servir de retorno a la banda.

Figura 15. **Transportadores de banda**



Fuente: MOVECO. *Transportadores de banda.*

<http://www.eymproductostecnicos.com/Clasificacion-de-las-bandas-transportadoras>. Consulta:
13 de diciembre de 2018.

1.2.6.1.6. Compactador de rellenos

Máquina utilizada en obras públicas, destinada a aglomerar y comprimir uniformemente los elementos constitutivos de una calzada.

Figura 16. **Compactador de rellenos**



Fuente: MOVECO. *Compactador de rellenos*. <http://www.grufek.com/>. Consulta: 13 de diciembre de 2018.

1.2.6.1.7. **Vibrador**

Equipo de trabajo que, mediante su vibración, se utiliza para homogeneizar el hormigón vertido para realizar estructuras de hormigón.

Figura 17. **Vibrador**

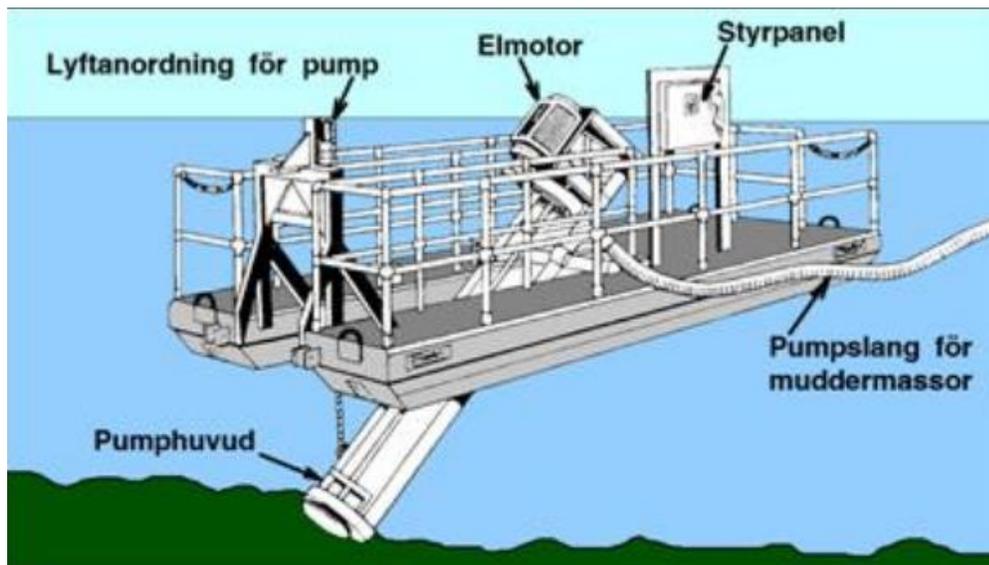


Fuente: MOVECO. *Vibrador*. www.moveco.com.gt. Consulta: 13 de diciembre de 2018.

1.2.6.1.8. Draga

Una draga es un equipo que puede estar instalado en una embarcación o tierra firme, que se utiliza para excavar material debajo del nivel del agua, y elevar el material extraído hasta la superficie. Estas operaciones se pueden realizar en canales navegables, en puertos, dársenas o embalses.

Figura 18. Draga



Fuente: MOVECO. *Draga*.www.loostrom.com. Consulta: 14 de diciembre de 2018.

1.2.6.1.9. Retroexcavadora

La retroexcavadora, retrocargadora, excavadora mixta, cargadora mixta o pala mixta es una máquina que se utiliza para realizar excavaciones en terrenos. Consiste en un balde de excavación en el extremo de un brazo articulado de dos partes.

Figura 19. **Retroexcavadora Caterpillar 320c**



Fuente: MOVECO. *Retroexcavadora Caterpillar 320c*. www.caterpillar.com.
Consulta: 15 de diciembre de 2018.

1.2.6.1.10. Ollas para concreto

Máquinas diseñadas para mezclar grandes cantidades de concreto y son impulsadas por motores de gasolina o eléctricos.

Figura 20. **Olla para concreto**



Fuente: MOVECO. *Olla para concreto*. www.moveco.com.gt.
Consulta: 15 de diciembre de 2018.

1.2.6.1.11. Revolvedoras

Máquina provista de un recipiente giratorio que sirve para mezclar los materiales con los que se hace el hormigón.

Figura 21. Revolvedoras



Fuente: MOVECO. *Revolvedora*. www.moveco.com.gt. Consulta: 16 de diciembre de 2018.

1.2.6.1.12. Pala mecánica

Una pala cargadora o pala mecánica es una máquina de uso frecuente en construcción de edificios, minería, obras públicas como pueden ser carreteras, autopistas, túneles, presas hidráulicas y otras actividades que implican el movimiento de tierra o roca en grandes volúmenes y superficies.

Figura 22. **Caterpillar 966**



Fuente: MOVECO. *Pala mecánica*. www.caterpillar.com. Consulta: 16 de diciembre de 2018.

1.2.6.2. Maquinaria pesada para el movimiento de tierra

A continuación, se muestra la maquinaria especializada para el traslado y movimiento de tierra.

1.2.6.2.1. Tractores

Vehículo automóvil con motor de mucha potencia y con grandes ruedas que se adhieren fuertemente al terreno, que se utiliza para el trabajo agrícola o para remolcar algo.

Figura 23. **John Deere 6323**



Fuente: MOVECO. *Tractor John*. www.deere.com. Consulta: 17 de diciembre de 2018.

1.2.6.2.2. Cargadores

Parte o complemento de una máquina, aparato o utensilio donde se carga lo que se necesita para que estos funcionen.

1.2.6.2.3. Excavadoras

Se denomina pala excavadora a una máquina autopropulsada, sobre neumáticos u orugas, con una estructura capaz de girar al menos 360° (en un sentido y en otro, y de forma ininterrumpida) que excava terrenos, o carga, eleva, gira y descarga materiales por la acción de la cuchara, fijada a un conjunto formada por pluma y brazo o balancín, sin que la estructura portante o chasis se desplace.

Figura 24. **Excavadora hidráulica 313D**



Fuente: MOVECO. *Excavadora hidráulica*. www.caterpillar.com. Consulta: 18 de diciembre de 2018.

1.2.6.2.4. Moto conformadoras

Una motoniveladora es una máquina de construcción que cuenta con una larga hoja metálica empleada para nivelar terrenos. Además, posee escarificadores para terrenos duros, los cuales puede ubicar al frente, en medio del eje delantero y la cuchilla o en la parte trasera, llamándose en este caso ripper.

Generalmente presentan tres ejes: la cabina y el motor se encuentran situados en la parte posterior, sobre los dos ejes tractores, y el tercer eje se localiza en la parte frontal de la máquina, estando localizada la hoja niveladora entre el eje frontal, y los dos ejes traseros. En ciertos países como Finlandia, la mayoría de las motoniveladoras están equipadas con una segunda cuchilla, localizada frente al eje delantero.

Figura 25. **Caterpillar 12H**



Fuente: MOVECO. *Caterpillar 12H*. www.caterpillar.com. Consulta: 18 de diciembre de 2018.

1.2.6.2.5. **Compactadores**

La compactadora es una máquina autopropulsada sobre ruedas que dispone de diferentes tipos de rodillos (vibrador, liso, pata de cabra, neumáticos lisos) que permiten acelerar el proceso de compactación de tierras.

Figura 26. **Caterpillar CCS9**



Fuente: MOVECO. *Caterpillar CCS9*. www.caterpillar.com. Consulta: 18 e diciembre de 2018.

1.2.6.2.6. Compresores

Un compresor es una máquina de fluido que está construida para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tales como gases y vapores.

Figura 27. **SULLAIR 900H**



Fuente: MOVECO. *Sullair 900H*. www.maqpower.com.mx. Consulta: 18 de diciembre de 2018.

1.2.6.2.7. Perforadoras

Se denomina perforadora o ahoyadora a la máquina utilizada para hincar el suelo y abrir hoyos de diámetro y profundidad variable. Puede transportarse fácilmente. En caso de encontrarse en el transcurso de la excavación con piedras grandes, actúa el embrague centrífugo de seguridad, que desconecta la barrena, mediante lo cual se evitan daños a la maquinaria.

Figura 28. **Perforadoras**



Fuente: MOVECO. *Perforadora.*

<https://www.construmatica.com/construpedia/Archivo:Perforadora.jpg>. Consulta: 19 de diciembre de 2018.

1.2.6.2.8. Trituradoras

Una trituradora es una máquina que procesa un material de forma que produce dicho material con trozos de un tamaño menor al tamaño original. Chancadora es un dispositivo diseñado para disminuir el tamaño de los objetos mediante el uso de la fuerza, para romper y reducir el objeto en una serie de piezas de volumen más pequeñas o compactas.

Si se trata de una máquina agrícola, tritura, machaca y prensa las hierbas, plantas y ramas que se recogen en el campo. También se puede emplear para extraer alguna sustancia de los frutos o productos agrícolas, rompiendo y prensándolos. Si se trata de una máquina empleada para la minería, la construcción o para el proceso industrial, puede procesar rocas u otras materias sólidas.

Figura 29. **UNTHA RS30**



Fuente: MOVECO. *Untha RS30*. www.moveco.com.gt. Consulta: 19 de diciembre de 2018.

1.2.6.2.9. Pipas o cisternas

El camión cisterna es una de las muchas variedades de camión que sirve tanto para el transporte de líquidos como para su mantenimiento por tiempo prolongado según sus características.

La mercancía se transporta en estado líquido ya que los fluidos tienen un menor volumen en estado líquido que gaseoso, pudiendo transportar mayor cantidad de este, pero a mayor presión.

Entre estos se destacan por su mayor uso los de agua para regadío y trasvase, los de transportes de combustibles líquidos como gasolina, queroseno, gas LP y otros, o los de productos químicos líquidos, estando el transporte de éstos regulado en casi todo el mundo por su peligrosidad.

Figura 30. **Pipas o cisternas**



Fuente: MOVECO. *Pipa o cisterna*. www.moveco.com.gt. Consulta: 20 de diciembre de 2018.

1.2.6.2.10. Pavimentadora

La pavimentadora es una máquina que logra distribuir y darle forma al asfalto. Se dice que la primer pavimentadora fue utilizada cerca de 1935, cuando se utilizaron rieles de acero montados para extender la mezcla por el camino, mientras la máquina se tira hacia delante.

La mayoría de las pavimentadoras son de acero y se componen por una tolva en la parte delantera y dónde se vacía el asfalto; también utiliza sinfines y tiene un sistema de transporte que le ayuda a moverse y expandir el material. Otras de sus partes son las transmisiones hidráulicas, los controles, las ruedas motrices u orugas, transportadores comederos y los tornillos transportadores.

El proceso de pavimentación se hace entre 100 a 300 pies por minutos. Cuando se va a utilizar una pavimentadora se debe revisar que la tolva de la pavimentadora esté llena de asfalto. Después con un tractor se le da propulsión

hacia adelante, mientras que los transportadores comederos van empujando el asfalto hacía la parte posterior de la pavimentadora.

Después de esto los tornillos transportadores giran para mandar el asfalto hacía fuera. Estas herramientas y partes de la pavimentadora son las que le permiten el control del asfalto al operado. La unidad extendedora se encarga del nivelando y compactado parcial del asfalto.

Figura 31. **Caterpillar AP300**



Fuente: MOVECO. *Pavimentadoras*. www.caterpillar.com. Consulta: 20 de diciembre de 2018.

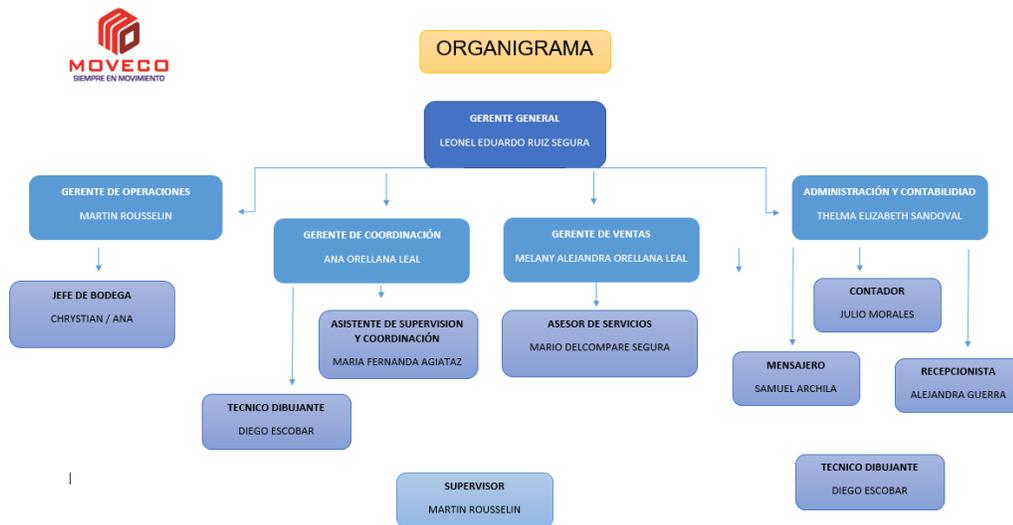
1.3. Estructura organizacional

A continuación, se muestra el organigrama presente de la empresa.

1.3.1. Representación gráfica de la estructura organizacional

A continuación, se presenta el organigrama de la empresa.

Figura 32. Organigrama



Fuente: *Organigrama*. www.moveco.com.gt. Consulta: 21 e diciembre de 2018.

1.3.2. Descripción de puestos

Gerente general: persona responsable del óptimo funcionamiento de la empresa, quien está a cargo de velar y supervisar que todo su recurso humano cumpla con los objetivos ya definidos en sus actividades.

Gerente de operaciones: personal responsable, de la ejecución y preevaluación de los proyectos a realizar.

Gerente de coordinación: persona responsable de optimar el recurso humano y tiempo para lograr satisfacer la demanda de los proyectos.

Gerente de ventas: persona responsable del departamento de ventas, dentro de sus funciones es el aumentar la oferta de proyectos a realizar.

Administración y contabilidad: departamento conformado por varias personas, las cuales tienen como función el velar por que se ejecuten las compras necesarias al mejor costo de mercado, establecer de forma eficiente los libros contables de la empresa, para que la misma no está trabajando con pérdidas monetarias.

1.4. Higiene

A continuación, se muestra la clasificación de la higiene industrial.

1.4.1. Definición de higiene

La higiene industrial es el conjunto de procedimientos destinados a controlar los factores ambientales que pueden afectar la salud en el ámbito de trabajo. Se entiende por salud al completo bienestar físico, mental y social.

1.4.2. Higiene personal en el área de trabajo

Es la disciplina dirigida a los agentes a que están expuestos los trabajadores en su centro laboral y que pueden causar una enfermedad de trabajo.

La higiene en el trabajo abarca: El trabajador con sus características biopsicosociales.

1.4.3. Equipo de protección personal (EPP)

Se entiende por EPP, cualquier equipo destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que lo proteja de uno o más riesgos que puedan amenazar su seguridad o su salud, así como cualquier complemento destinado al mismo fin.

1.5. Peligros

A continuación, se definen los conceptos del peligro en la industria.

1.5.1. Definición de peligro

Situación en la que existe la posibilidad, amenaza u ocasión de que ocurra una desgracia o un contratiempo.

1.5.2. Etapas de prevención de peligros

La prevención de riesgos debe estar integrada en todas las actividades que se realicen en la empresa: deben tomarse en cuenta los efectos sobre la salud de todas las decisiones que se adopten. Para ello, todos los mandos, de todas las áreas, deben estar implicados en la prevención, y esto sólo es posible con el liderazgo del empresario.

Por ello, el empresario debe conocer los riesgos: identificarlos y evaluarlos para adoptar medidas preventivas. Desde su posición en la gestión, al

empresario le servirán estos conocimientos no solo para corregir puntualmente las situaciones de riesgo, sino que también podrá revisar sus políticas respecto a todos aquellos aspectos de la gestión que puedan afectar a las condiciones de trabajo y la salud.

1.6. Mantenimiento

A continuación, se definen los conceptos de mantenimiento en la industria.

1.6.1. Definición de mantenimiento

Se define como el conjunto de actividades destinadas a garantizar el óptimo funcionamiento y prolongar la vida útil de los equipos, maquinaria e instalaciones para operar en condiciones de funcionamiento seguro, eficiente, económico y especialmente para mantener el servicio que prestan y para el cual han sido creados.

1.6.2. Características

- Nivel de incertidumbre
- Dependencia de las interfaces
- Importancia de la mano de obra
- Productividad del mantenimiento
- Volumen de información
- Relación con la calidad del ambiente
- Relación con la seguridad

1.6.3. Tipos de mantenimiento

A continuación, se clasificarán los tipos de mantenimiento en la industria.

1.6.3.1. Preventivo

A principios de siglo se mostraron los primeros indicios de este sistema de mantenimiento, consiste básicamente en una serie de trabajos que es necesario desarrollar en alguna unidad operativa, instalación o maquinaria para evitar que pueda interrumpir el servicio que proporciona. Esta serie de trabajos, generalmente, se toma de las instrucciones que dan los fabricantes al respecto, experiencias propias y aportaciones que puedan hacer los técnicos de mantenimiento en cada especialidad.

Una buena organización que aplica el mantenimiento preventivo, logra experiencia en determinar la causa de fallas respectivas o el tiempo de operación segura de algunos componentes o bien, llega a conocer puntos débiles de las instalaciones, equipos, maquinaria y otros.

La ejecución del mantenimiento preventivo, ya sea ligero o a fondo, debe llevarse a cabo por medio de programas, debe planearse, por eso éste es más barato que el mantenimiento correctivo, ya que tanto el material como la mano de obra y el momento de la labor están adecuados en cantidad, calidad y precio.

Al ocurrir una avería, siempre se tiene que aplicar el mantenimiento curativo. Con el mantenimiento preventivo, se busca minimizar la probabilidad de fallas; por medio de la aplicación constante de un nivel determinado de mantenimiento para prevenirlas.

1.6.3.2. Correctivo

Serie de trabajos que es necesario ejecutar en los equipos, maquinaria e instalaciones, al cuidado del personal de mantenimiento, cuando estos dejan de prestar el servicio para el cual han sido diseñados.

Se divide en dos aplicaciones:

- Interviene cuando el mantenimiento preventivo indica que se impone una reparación del equipo, maquinaria para volver a poner en correcto estado de funcionamiento. Dichas reparaciones deberán efectuarse inmediatamente para prevenir mayor y más serios desperfectos que puedan provocar el reemplazo del equipo, maquinaria, antes de la expiración contemplada del período de vida útil.
- El mantenimiento correctivo también abarca remodelaciones o montaje e instalaciones y equipos.

1.6.3.3. Predictivo

Es una técnica para pronosticar el punto y tiempo futuro de falla de un componente de una máquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, con base en un plan, justo antes de que falle. Así, el tiempo muerto del equipo se minimiza y el tiempo de vida del componente se maximiza.

2. SITUACIÓN ACTUAL

2.1. Departamento de planificación de proyectos

Según el organigrama de la empresa, el departamento en función se desarrolla y complementa de la siguiente manera.

2.1.1. Estimación de tiempos de duración de los proyectos

La organización, programación y ejecución de los proyectos a desarrollar por parte de la empresa, se resume como un conjunto de análisis y diseños estratégicos a cargo del personal capacitado que debe de realizar la programación estimada del tiempo efectivo para realizar los proyectos requeridos, también incluyen los cálculos estimados de la fuerza de mano de obra necesaria para ejecutar cada uno de los proyectos programados y diseñados.

2.1.2. Análisis geográfico para ejecución de proyectos

Acción realizada de manera presencial y física por el personal de la empresa, realizando el estudio geográfico y el análisis situacional del entorno, quienes, con la ideología del respeto y cuidado al medio ambiente, analizan cada una de las diferentes variables que puedan ser de efecto dañino al entorno y al trabajo a realizar donde se ejecutará cada proyecto.

2.1.3. Análisis económico para ejecución de proyectos

Según sea la demanda y necesidad de cada uno de los proyectos requeridos hacia la empresa, esta realiza el estudio y análisis estimado de los diferentes insumos y recursos que conllevan la ejecución de proyectos, incluyéndose el determinado número de unidades para cumplir el tiempo programado en la ejecución del proyecto, también si sea necesario subcontratar personal o si la entidad contratante requerirá servicios especiales técnicos o específicos, también si la entidad contratante necesita ejecutar un proyecto fuera del país de Guatemala.

2.2. Departamento de ejecución de proyectos

La ejecución de proyectos se formula y complementa de la siguiente manera.

2.2.1. Supervisión en la obra

Son la responsabilidades compartidas por el personal asignado solamente a esta operación, este personal ha sido capacitado en la ejecución de proyectos en obra, para cumplir con las necesidades de los contratistas, por lo mismo son personas que poseen certificaciones que cumplan con estrategias y planeación del recurso humano que está a su cargo, asumiendo las óptimas prácticas de manejo de personal, restringiendo las malas prácticas laborales y siendo eficientes en conjunto para concluir los proyectos en las fechas estimadas y programadas, los supervisores se encuentran siempre presentes para realizar la supervisión de los proyectos, proponiendo soluciones inmediatas ante la presencia de cualquier atraso o inconveniente.

2.2.2. Supervisión en traslado de equipo

El personal a cargo de los traslados de equipo especializado y equipo pesado, tiene como función y responsabilidad, supervisar el traslado de la maquinaria pesada y carga sobredimensionadas, anticipándose a los inconvenientes en las rutas de los traslados, optimizando los recursos disponibles y proponiendo soluciones inmediatas ante cualquier inconveniente que se pueda suscitar en el camino, este personal posee capacitaciones para ejecutar los traslados, capacitaciones que han sido objetivas en cuanto a la prevención de los riesgos o daños que se pudiesen causar en las rutas críticas de transitar.

2.2.3. Supervisión en montaje industrial

Para lograr ser un supervisor especializado en el montaje industrial, conlleva preparación académica, física y mental, se compone de diferentes estrategias analíticas y reactivas necesarias en cada uno de los supervisores, se plantean escenarios dentro de las capacitaciones donde se demuestran las debilidades y posibles fallas sus citables al ejecutar los montajes industriales, por lo cual se deben de tecnificar y cursar diferentes programas de acreditaciones internacionales para certificarse en normas de seguridad y calidad, de esta manera se logra obtener el personal altamente calificado para las operaciones que requieran los diferentes proyectos y las demandas particulares de los contratistas. Se logra formar el personal calificado y capacitado, que tiene como función y responsabilidad, verificar presencialmente, que los montajes industriales, sean ejecutados, conforme los planos diseñados con anterioridad, proponiendo soluciones inmediatas ante cualquier inconveniente que se pueda suscitar en la obra.

2.3. Departamento de dibujo y planos

Departamento fundamental dentro de la estructura organizacional que conlleva muchos estudios y análisis técnicos para la formulación de mejoras en los proyectos requeridos por los contratistas.

2.3.1. Diseños de planos

El personal a cargo de los diseños de los planos requieren de mucha destreza abstracta, ya que el desarrollo de los mismos es en petición al contratista o a la demanda del proyecto futuro, dicho personal posee habilidades numéricas y espaciales que logran trasladarlas a la logística trazada en papel, se realizan de tal manera que sea de fácil entendimiento hacia las personas que ejecutarán los proyectos, siempre respetando norma de seguridad y parámetros técnicos para optimizar los diseños, el diseño de un plano debe cumplir con las necesidades del contratista y la eficiencia de la empresa arrendada, la ejecución y realización final queda a discreción del personal que ejecuta la obra, podría ser desde un montaje industrial, hasta la ruta de traslado de carga especializada. Por lo cual la empresa posee personal altamente capacitado.

2.3.2. Planos a medida según el cliente

En esta ejecución y elaboración de diseños de planos, se respetan las especificaciones del contratista, siempre realizando observaciones y mejoras, que proveen beneficios económicos y de tiempo, se toman en consideración diferentes variables que podrían perjudicar la ejecución de los proyectos que el contratista desea realizar, si las peticiones del contratista ofrecen medidas de inseguridad que pueda provocar algún accidente industrial o laboral, se le hace

saber que no será posible ejecutarlo de la manera que lo desea, ofreciendo un diseño mejorado y eficiente que cumpla con el objetivo final para el desarrollo del mismo plano.

2.3.3. Mejoras y propuestas

Análisis situacional y operativo que realiza en conjunto el departamento de dibujo y planos, para proponer diseños exclusivos, eficientes y mejorados, para satisfacer las necesidades de los contratistas, por la trayectoria de trabajo que cuenta la empresa a contratar, las diferentes proyectos realizados y culminados, se cuenta con experiencia técnica y destrezas en ejecución de los proyectos, por lo cual se hace el estudio de prefactibilidad a las proyectos nuevos de los contratistas, si el contratista posee un diseño único, nuevo y eficiente, se le da autorización para ejecutarlo, si el proyecto nuevo del contratista puede ser mejorado, se realizan las observaciones y se presentan las propuestas mejoradas que logran efficientizar la ejecución de su proyecto.

2.4. Departamento de ingeniería

Está compuesto por personal capacitado, adiestrado y con experiencia en la formulación y desarrollo de proyectos y ejecución de obras.

2.4.1. Estudios económicos

Una de las fases más importantes antes de comenzar cualquier proyecto, con independencia de cuáles sean sus características, es realizar un estudio de viabilidad, con el propósito de analizar si su puesta en marcha es factible o no. Sin embargo, la eficacia del estudio dependerá de si se han tenido en cuenta

todos los factores que intervienen en el proceso y que pueden suponer un grave riesgo para el éxito de la misma.

La puesta en marcha de cualquier proyecto deber ir precedida de un análisis de los siguientes criterios:

- El entorno en el que se desarrollara la empresa, a fin de conocer su situación.
- El mercado a que se dirige, para conocer sus características concretas.
- Las características técnicas que hacen falta para llevarlo a cabo.
- Los recursos administrativos que hay que tener presente para su puesta en marcha.
- Los requisitos legales que hay que cumplir para que el proyecto se ejecute.
- Los gastos económicos que conlleva poner en funcionamiento el proyecto.

El estudio económico del proyecto es, por tanto, uno de los pasos claves para identificar la viabilidad de un proyecto, pero no es único. Un estudio que sólo se basa en el aspecto económico, será incompleto y, por tanto, su viabilidad no será fiable.

El fin último de este estudio es analizar las necesidades de tipo económico y financiero que precisa la puesta en marcha del proyecto, con el propósito de ayudar a valorar si es rentable, o no, emprender el nuevo proyecto. Se trata de conocer los siguientes requisitos:

- La inversión económica necesaria y cómo se va a financiar.

- Estimar los costos y gastos que va a suponer la puesta en marcha del proyecto.
- Valorar los posibles ingresos para realizar un cálculo aproximado de los beneficios que puede dar el proyecto.

Por lo tanto, para realizar este estudio económico, es preciso estructurarlo atendiendo los siguientes elementos:

2.4.1.1. Inversiones

En todo proyecto existen tres tipos de inversiones, cuya suma proporcionará el total de inversiones necesarias para poner en marcha el proyecto.

- Inversiones en activos fijos: son aquellas destinadas a recursos de tipo tangible, como la maquinaria pesada o el mobiliario preciso o intangible, es decir, que no se pueden tocar, como los estudios, las relaciones con los proveedores, derechos y permisos.
- Inversiones en capital de trabajo o activos circulantes: se trata de determinar los recursos necesarios para poner en funcionamiento el proyecto (materias primas, mano de obra, entre otros).
- Para calcular este capital de trabajo, es preciso restar a los activos corrientes que ya posee la empresa para poner en marcha el proyecto (capital disponible en efectivo o no, materias primas, repuestos y productos), los pasivos o deudas por pagar a proveedores. También se debe tomar en cuenta cuales son las fuentes de financiación del proyecto y en qué medida lo van a financiar, si se posee capital, existen inversores, se va a pedir un crédito a los bancos o si la financiación va a ser mixta, combinando dos o más fuentes de financiación.

- Gastos previos preoperatorios: es decir aquellos destinados a la realización de estudios, captación de capital, y la realización de diseños y planes, previos a la puesta en marcha del proyecto.

Es conveniente realizar un calendario de inversiones para llevar un control de las mismas durante la evaluación del proyecto.

2.4.1.2. Gastos totales

Son los gastos totales que van a suponer el proyecto, para obtener este resultado se precisa analizar los siguientes aspectos:

- Los gastos de administración y ventas, donde se engloban los gastos derivados de la remuneración del personal, depreciaciones, entre otros.
- Los gastos financieros, aquellos gastos correspondientes a los intereses de las obligaciones financieras.
- Los gastos de fabricación y comercialización, serían aquellos gastos derivados de facturas de luz, combustibles, impuestos, repuestos, mano de obra tercerizados, entre otros.

2.4.1.3. Costos

Se compone de los costos de producción, dentro de los que se encuentran las materias primas, materiales y recursos necesarios para crear el producto o dar el servicio. Estos costos se pueden clasificar en función de su valor, como variables o fijos.

2.4.1.4. Ingresos

Por otro lado, en el estudio económico, además de los gastos, hay que realizar una valoración del dinero que se estima se puede recaudar gracias a la venta del producto o servicio realizado y de otros tipos de ingresos que pueden beneficiar la rentabilidad del proyecto.

2.4.2. Coordinación de proyectos

La coordinación de proyectos a menudo implica planificar y dirigir varias tareas en forma simultánea. La coordinación es esencial para un negocio que se encarga de dos o más proyectos relacionados. Estos varían en función de los objetivos comerciales, pero pueden incluir el lanzamiento de un producto nuevo o la expansión de un servicio en otra zona.

Un coordinador a menudo asume diferentes roles y responsabilidades, dependiendo de la industria, el tamaño de la empresa y el objetivo del proyecto. Por ejemplo, las corporaciones pueden designar coordinadores de proyecto diferentes para que se encarguen de las cuestiones domésticas e internacionales, mientras que los negocios más pequeños pueden incluir responsabilidades básicas de coordinación dentro de las tareas del jefe. Los coordinadores de proyectos pueden tomar decisiones o asistir a los jefes principales.

2.4.2.1. Nociones básicas

El alcance del proyecto (por ejemplo, el conjunto de subproyectos de diferentes equipos que lo integran) y el marco de tiempo, tanto las tareas a corto plazo como la fecha de culminación, son características fundamentales,

en especial porque una coordinación exitosa requiere una planificación a largo plazo y un trabajo sin interrupciones. Si el objetivo de la empresa es abrir una nueva sede, se debe calcular con precisión cuánto tiempo se llevará construir las instalaciones, obtener los permisos municipales necesarios, adquirir los muebles y equipos correspondientes y contratar y capacitar el nuevo recurso humano. Por lo tanto, una demora en la recepción de suministros básicos puede afectar el proyecto completo, añadiendo como efecto negativo costos adicionales.

2.4.2.2. Empleados

A fin de mantener la eficiencia, se considera la posibilidad de designar a una persona o un equipo que trabajen como coordinadores de proyecto. Estos individuos deben contar con habilidades y destrezas para la solución de problemas, a fin de anticipar demoras o situaciones inesperadas y resolverlas. Asimismo, deben tener la capacidad necesaria para interactuar y negociar con diferentes tipos de personas. Si el proyecto implica trabajar con una empresa externa o extranjera, el coordinador debe saber que las costumbres comerciales de los diferentes países pueden ser diferentes al nuestro. Si no se puede crear un puesto de coordinador general especial, se debe adaptar las responsabilidades del coordinador general del proyecto para que funcione como asistente del equipo ejecutivo. Por ejemplo, un asistente de proyecto ejecutivo puede organizar reuniones, llevar la agenda y evaluar los progresos respecto del objetivo principal, que es garantizar la eficacia del proyecto.

2.4.2.3. Software

Se debe contar con programas de computación que ayuden a incrementar la eficiencia, como por ejemplo los que sirven para organizar los archivos del

proyecto y manejar la información principal. Para determinados trabajos, las hojas de cálculo, los gráficos y las tablas resultan de gran utilidad. También se necesitarán programas como Microsoft Excel o Project, si es de necesidad fundamental o básica se debe desarrollar algún software especial. Por ejemplo, se puede diseñar un programa que se centre en un aspecto importante, como los costos totales o cuestiones de control de calidad. Se debe asegurar que la información del proyecto resulte accesible y entendible para sus principales participantes.

2.4.2.4. Consideraciones

Algunos proyectos incluyen personas de diferentes organizaciones y empresas trabajando juntas para lograr un objetivo común. Se deben analizar de manera continua los riesgos del proyecto, como la probabilidad de que un miembro del equipo se vea imposibilitado de conseguir un permiso o entregar suministros a tiempo. La coordinación del proyecto debe incluir planes alternativos para casos imprevistos que se pueden adoptar con rapidez si fuere necesario.

2.4.2.5. Dirección

Las etapas de la coordinación de un proyecto suelen incluir la creación de un objetivo general, la planificación de las principales tareas y su ejecución y control. Se recomienda diseñar un análisis FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas) o PETS (político, económico, tecnológico y social) para emplear a lo largo de las diferentes etapas, a fin de evaluar el progreso del proyecto.

2.4.3. Cálculos de reforzamientos de estructuras

Se describe como el proceso racional que llevara a decidir si el refuerzo es necesario o no. Se realizan análisis conceptual de distintas alternativas de esfuerzo, de los tipos de refuerzo y de su movilización. También se resumen las comprobaciones que deben llevarse a cabo, haciendo una atención especial a la unión entre el esfuerzo y la estructura original, así como a las posibilidades que brinda la utilización combinada de ensayos in situ con la simulación numérica y finalmente se analizan algunos aspectos relacionados con la utilización de materiales modernos para el refuerzo, como resinas sintéticas y otros productos.

En conclusión, lo primero que el técnico debe plantearse es si el refuerzo es necesario o no y, en casi afirmativo, acotar muy bien las partes o elementos de la estructura que deben ser reforzados así como las propiedades resistentes o deformaciones que deben ser mejoradas, prestando especial atención a la elección del tipo de refuerzo y de los materiales a emplear. Ello implica una elevada exigencia técnica en conocimiento de materiales, en métodos de análisis y de comprobación al técnico responsable del refuerzo. Por otra parte, la economía de medios y la sostenibilidad obligan a lograr la máxima colaboración de la estructura original, lo cual es un factor determinante en el diseño del refuerzo.

2.4.4. Cálculos de reforzamientos de puentes

El reforzamiento de puentes es el resultado de un buen programa de mantenimiento. La selección de una correcta técnica de refuerzo depende de saber la causa de sus deficiencias y no los síntomas.

Un procedimiento general para diseñar y ejecutar un reforzamiento involucra la evaluación y determinación de las causas de la deficiencia, los métodos, materiales y planos que van a ser usados en la ejecución del refuerzo.

2.4.4.1. Evaluación

El primer paso es evaluar la condición actual de la estructura, una vez que el ingeniero encargado del mantenimiento obtiene los informes de inspección, debe revisarlos para así tomar la decisión de reemplazar o reparar los miembros. Algunos puntos que se debe incluir en la evaluación son:

- Examinar los documentos de diseño y construcción.
- Revisar las inspecciones anteriores realizadas al puente.
- Realizar una inspección visual, ensayos no destructivos y pruebas de laboratorio.
- Analizar los datos y resultados de un estudio estructural de la condición actual del puente.

2.4.4.2. Estudio de las causas

La información de la evaluación debe estar relacionada con el mecanismo o los mecanismos que causan los daños. Muchas de las deficiencias son ocasionadas por más de un mecanismo, por lo que un conocimiento básico de las causas del deterioro es necesario para determinar el problema actual que produjo el daño.

2.4.4.3. Selección de métodos y materiales

Una vez que la causa o causas del daño se han determinado, la selección de los materiales de reforzamiento y los métodos apropiados se deben basar en estas consideraciones:

- Establecer las limitaciones en el acceso a la estructura, la programación operativa del puente y las condiciones atmosféricas.
- Analizar las ventajas y desventajas del reforzamiento tanto permanente como temporal.
- Usar los métodos y materiales económicamente viables.
- Determinar la disponibilidad de materiales y métodos de refuerzo, así como la facilidad técnica de usarlos.

2.4.4.4. Preparar memorias de diseño, planos y especificaciones

Este paso debe tomar en cuenta las especificaciones existentes, los resultados y conclusiones obtenidas del estado actual del puente, la experiencia obtenida en proyectos similares, el conocimiento de los materiales usados en el refuerzo, como también recomendaciones respecto al reforzamiento.

2.4.4.5. Ejecutar la reparación

El éxito de la reparación depende del grado con que se usen los planos y especificaciones, al igual de las facilidades que presente el sitio donde va ser aplicado el refuerzo.

2.4.4.6. Acciones más comunes de refuerzo

Entre las acciones más comunes en el reforzamiento de un puente están:

- Reemplazar o reparar conexiones.
- Añadir metal en las secciones transversales que han sido reducidas debido a la corrosión o a las fuerzas externas.
- Soldar o añadir cubre-placas para reparar las fisuras del acero estructural debido a la fatiga producto de cargas vehiculares.
- Reforzamiento externo: longitudinal, transversal y vertical.
- Cambio de juntas de dilatación.
- Sustitución de apoyos elastoméricos.

2.4.5. Logística de traslado de cargas extradimensionadas

Estudio de planificación y ejecución de traslado de carga de origen a destino, realizado por personal calificado y capacitado, según sea la necesidad del contratista.

2.4.6. Logística de ensamble de estructuras industriales

Planificación y ejecución de proyectos industriales, realizados en la obra del contratista o en el área geográfica donde sea solicitado llevarlo a cabo, según sea la necesidad del contratista.

2.5. Departamento de mercadeo

Desarrollo de propuestas innovaciones para los contratistas.

2.5.1. Información de servicios a prestar

Las empresas de servicios son aquellas actividades económicas organizadas para la prestación y venta de un servicio; de acuerdo a la clasificación de las actividades económicas establecida por la economía clásica, las empresas de servicios conforman el sector terciario de la economía.

Se denominan de servicios porque tienen por principal función el ofrecimiento de una actividad en pro de la satisfacción de las necesidades de un público a cambio de una contraprestación; las empresas de servicios ofrecen un servicio intangible y pueden ser públicas o privadas.

Cuando se dice que el servicio prestado por las empresas de servicios es intangible, no se excluye la posibilidad de que para la prestación de dicho servicio se requieran de bienes tangibles y de personal humano para ejecutarlo, si no que el producto entregado es intangible.

2.5.2. Información de proyectos

Un proyecto puede ser simplemente un plan o una idea, al menos en la vida cotidiana o en el lenguaje coloquial. Cuando se habla de proyectos en un marco más formal, es habitual que puedan distinguirse diversas etapas en su desarrollo: primero surge una idea que reconoce una oportunidad, luego se diseña el proyecto en sí mismo con la valoración de las estrategias y opciones y finalmente se ejecuta el plan.

Tras la concretación del proyecto, llega la hora de evaluar los resultados según el cumplimiento, o no, de los objetivos fijados.

Aún existen múltiples clasificaciones de los proyectos, es posible señalar dos grandes categorías. Por un lado, aparecen los proyectos productivos (asociados a las empresas, buscan generar beneficios económicos) y, por otro, los proyectos sociales o públicos, que apuntan a mejorar la calidad de vida de la gente.

2.6. Departamento de seguridad e higiene industrial

Departamento responsable de la seguridad industrial de la empresa.

2.6.1. Salud y seguridad ocupacional

La salud y seguridad ocupacional es una multidisciplina en asuntos de protección, seguridad, salud y bienestar de las personas involucradas en el trabajo. Los programas de seguridad e higiene industrial buscan fomentar un ambiente de trabajo seguro y saludable; también incluye protección a los compañeros de trabajo, familiares, empleadores, clientes y otros que puedan ser afectados por el ambiente de trabajo.

Según la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y la organización Mundial de la Salud (OMS) dice:

La salud ocupacional debe tener como objetivo la promoción y mantenimiento del más alto grado de bienestar físico, mental y el bienestar social de los trabajadores en todas las ocupaciones, la prevención entre los trabajadores de las desviaciones de salud causados por sus condiciones de trabajo, la protección de los trabajadores en su empleo contra los riesgos resultantes de factores adversos a la salud; la colocación y el mantenimiento del trabajador en un entorno de trabajo adaptado a sus capacidades fisiológicas y psicológicas y, para resumir: la adaptación del trabajo al hombre y cada hombre a su puesto de trabajo. (OIT Y OMS, 1950).

2.6.2. Capacitaciones

Diseñadas y realizadas, según sea la necesidad por cubrir dentro de la empresa, enfocadas para desarrollar y complementar las habilidades operativas y académicas de cada persona que forma parte del recurso humano de la empresa.

2.6.3. Equipo de protección personal

Provisto por la empresa, para cada persona que forma parte del recurso humano, que se encuentra ejecutando los proyectos, también al personal que realiza las supervisiones en proyectos y cuando el contratista necesita que se realiza una previa evaluación geográfica y situacional de la obra a trabajar.

2.7. Departamento de mantenimiento

Departamento a cargo del óptimo funcionamiento de la maquinaria y transporte.

2.7.1. Bodega de predio

Espacio físico disponible y establecido en el predio de la empresa donde se encuentra parqueada la maquinaria pesada.

2.7.2. Taller de reparaciones en predio

Espacio físico establecido en las instalaciones del predio de parqueo donde se encuentra la maquinaria pesada, adaptado para lograr realizar las reparaciones y mantenimientos necesarios según sean las especificaciones.

2.7.3. Mecánicos

Recurso humano dispensable que realiza las reparaciones de la maquinaria pesada, ejecutando los trabajos dentro del predio de parqueo, o donde sea la necesidad de reparación según el lugar geográfico donde se encuentra la maquinaria pesada.

2.7.4. Ayudantes

Recurso humano dispensable que provee el servicio de respaldo a los mecánicos dentro y fuera de las instalaciones de la empresa.

3. PROPUESTA PARA DISEÑAR UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

3.1. Planificación

Formulación y planteamiento estratégico de los diferentes procedimientos a tomar en la ruta crítica de los mantenimientos.

3.1.1. Maquinaria pesada

En la planificación se deben considerar diferentes variables, deben estar asociadas al tipo de trabajo que desarrolla la maquinaria, también el entorno donde estarán posicionadas, si el medio ambiente puede ser húmedo, seco o en terreno con exceso de arcilla.

La planificación se realizará de forma proporcional al trabajo que ejecuta la maquinaria pesada, si la maquinaria presenta alta demanda de trabajo, se realizarán las revisiones previas del sistema hidráulico, sistema de inyección y rodamientos.

3.1.2. Unidades de transporte

Se propone un formato de chequeo diario (*check list*), el cual debe ser ejecutado por el piloto responsable de la unidad de transporte, este formato incluirá todos los aspectos básicos e importantes a revisar en las unidades de transporte, al obtener una revisión diaria de las unidades se pueden reducir las

fallas mecánicas por el método de observación. Ficha FIT-001 ficha de inventario de transporte.

Al realizar el chequeo diario se creará el inventario con historial necesario de problemas presentadas por cada unidad de transporte, el historial junto con las fichas es la herramienta clave para saber si la unidad ha sido reparada o a presentado fallas repetitivas.

3.1.3. Montacargas

Siendo los montacargas piezas claves en la industria y de uso continuo, su planificación deberá ser proyectada a realizarse en el tiempo justo cuando este al límite de llegar a su servicio preventivo, al realizar la programación tanto en tiempo y fecha, deberá ser incluida una revisión exhaustiva y profunda del sistema hidráulico, sistema de frenos, sistema eléctrico y consola central, para realizar los cambios que según el mecánico de taller considere necesarios y evitar fallas a largo plazo.

3.2. Organización propuesta

Se presenta la mejora de la organización que está compuesta en la empresa.

3.2.1. Área administrativa

Definir el rol de una persona dentro de la empresa que sea responsable de velar por la supervisión y el estado mecánico de las unidades de transporte y maquinaria pesada de la empresa.

Dentro de las obligaciones de esta persona, deberá ser la programación de los mantenimientos, ejecutar las comprar necesarias de los lubricantes, repuestos y accesorios de las unidades de transporte pesado y maquinaria pesada, así como realizar el historial de mantenimientos de forma física y digital de todas las unidades.

3.2.2. Área mecánica

Proveer y contar con mecánicos altamente capacitados en el conocimiento de maquinaria pesada, que pudiesen demostrar su experiencia mediante diplomas y certificaciones.

3.2.3. Departamento de mantenimiento

Departamento a cargo de ejecutar las ordenes de mantenimiento y reparaciones.

3.2.3.1. Cotización y compra de repuestos

Unidad ejecutora dentro de la empresa, que debe realizar la cotización y comparación previo a la compra, realizar la comparación como mínimo con tres proveedores, los cuales deberán cumplir con estándares establecidos, dichos estándares estarán sujetos a calidad del repuesto, *stock* del repuesto, tiempo de entrega del repuesto, garantía del repuesto y el estándar clave y critico el precio del repuesto.

3.2.3.2. Cotización y compra de lubricantes

Unidad ejecutora dentro de la empresa, que debe realizar la cotización y comparación previo a la compra, realizar la comparación como mínimo con tres proveedores, los cuales deberán cumplir con estándares establecidos, dichos estándares estarán sujetos a calidad del lubricante, *stock* del lubricante, tiempo de entrega del lubricante, garantía del lubricante según especificaciones técnicas de cada maquinaria y el estándar clave y crítico el precio del lubricante.

3.2.3.3. Cotización y compra de grasas

Unidad ejecutora dentro de la empresa, que debe realizar la cotización previa a la compra, realizar la comparación como mínimo con tres diferentes proveedores, deberán ofrecer producto de alta calidad al mejor precio.

3.3. Ejecución técnica

Programación adecuada y efectiva para ejecutar el mantenimiento establecido.

3.3.1. Proyecciones según calendario

Establecer los días adecuados y óptimos dentro del calendario anual de trabajo, para fijar los mantenimientos o revisiones de la maquinaria pesada y de transporte.

Los días que se pueden tomar de referencia son días de descanso donde la maquinaria no se encuentra en funciones o en proyectos ejecutando alguna función.

3.3.2. Proyecciones según tiempo de trabajo

Establecer el tiempo de mantenimiento justo cuando una maquina está terminando de ejecutar un proyecto, también se puede programar una revisión completa del sistema de dirección, sistema hidráulico, sistema de frenos, sistema eléctrico y neumáticos.

3.3.3. Proyecciones según horas de trabajo

Establecer el tiempo de mantenimiento para aprovechar los tiempos de ocios de la maquinaria pesada, si una maquina se detiene por continuidad o espera de otra acción de trabajo, se deberá realizar la inspección necesaria para determinar si necesita cambios o reparaciones.

3.4. Importancia del mantenimiento predictivo

Un programa de mantenimiento predictivo tiene como objetivo mantener en perfecto estado de funcionamiento la maquinaria para lograr su máximo rendimiento. Para lograr esto, hay dos factores que juegan un papel importante en la tarea de mantenimiento: calidad y costos.

Actualmente la mayoría de empresas ponen en práctica métodos y sistemas que lleven a obtener una máxima producción al más bajo costo, para ser competitivas a nivel mundial. Muchas empresas tratan de lograr este objetivo únicamente en ciertas áreas y específicamente en los procesos de producción, descuidando el mantenimiento de equipo, originándose así, fuertes pagos extras no contemplados en la programación de un proyecto por los excesivos paros forzados. La rentabilidad de una empresa no podrá ser óptima si se descuida la función de mantenimiento.

Muchas veces se considera que el objetivo del mantenimiento es hacer que la maquinaria trabaje, aunque el costo para lograrlo sea elevado, en este sentido la función de mantenimiento queda limitada a la reparación de avería; es evidente entonces que los costos de reparación serán altos y la productividad baja.

Si se analiza el problema desde el punto de vista correcto, es decir, lograr alto rendimiento y bajo costo, es necesario controlar los siguientes aspectos:

- Las reparaciones de emergencia.
- El tiempo muerto.
- Seguridad de los trabajadores y operarios.
- Mano de obra en reparaciones.

Mediante el control eficiente de los factores enunciados antes y con una adecuada planeación y programación de los trabajos de mantenimiento se puede obtener una disminución de costos. Hay que tener en mente que el funcionamiento de una máquina hasta su destrucción, es costoso.

Dado que el mantenimiento es el factor más importante para el funcionamiento de las máquinas, se debe encontrar una solución y ella descansa en que un alto porcentaje de las fallas están precedidas por ciertos signos o condiciones indicadoras de que se van a producir.

Si se usan estos signos para determinar cuándo tomar acciones de mantenimiento a la maquinaria se podría evitar fallas prematuras. Además, no se producirían interrupciones en el servicio.

El mantenimiento predictivo se efectúa mediante métodos indirectos para determinar, la condición de un equipo. Esta característica de predicción, permite aplicar en este tipo de mantenimiento las técnicas de planificación y organización.

3.4.1. Ingeniería administrativa del mantenimiento

Conforme se automatiza una empresa, aumenta el personal dedicado a labores en mantenimiento, mientras se reduce el personal dedicado a labores de producción, al mismo tiempo, la división entre ambos tiende a desaparecer, convirtiéndose simplemente en personal de operación. Esto debido a que las labores mecánicas y repetitivas son ejecutadas por máquinas inteligentes, que entre otras cosas son capaces de indicar cuando y donde hay una falla, estableciendo con el personal de mantenimiento una relación similar a la que tiene un médico con su paciente. Por ello, el personal de mantenimiento, será especialista altamente calificado, que conoce el proceso productivo a la perfección, así como las características técnicas de los sistemas y equipos.

Conceptos de confiabilidad, como los aplicados en el mantenimiento de aviones, se volverán indispensables para garantizar que los paros de producción imprevistos, serán obsoletos, ya que los conceptos modernos de producción, como el justo a tiempo, así lo requieren.

Un mantenimiento altamente especializado, brindará grandes oportunidades para la creación de empresas de servicio, que permitan a las empresas bajar sus costos de operación al subcontratar las labores más especializadas, que requieren de costosos equipos y personal muy bien pagado. Las labores rutinarias de administración de mantenimiento, serán

computarizadas y formarán parte de la red de cómputo, que permite programar y controlar la producción.

El auge de la ecología hará imprescindible que el ingeniero responsable de mantenimiento, asuma nuevas funciones: ahorro energético, reciclaje de desechos industriales, implementación de tecnología limpias y en general todo lo relacionado con la imagen de una empresa preocupada por la preservación del ambiente.

La ingeniería administrativa es una actividad humana que reúne los elementos necesarios para que los recursos humanos y materiales de una empresa cumpla con los objetivos predeterminados por ésta. Es notorio que todos los elementos son mutables y la maquinaria no es la excepción; por lo tanto, si se desea que siga funcionando de acuerdo con la idea que originalmente se concibió, es necesario e indispensable darles atención a sus necesidades hacer una serie de trabajos, tales como inspecciones, pruebas, lubricaciones, reparaciones, limpiezas, entre otros.

En la actualidad la industria guatemalteca cuenta con maquinaria que en su mayoría necesita atenciones constantes por parte de mantenimiento, con la finalidad de conservar optimó el servicio para el cual fueron diseñadas, aun cuando los avances tecnológicos son crecientes y surjan dispositivos para realizar el mantenimiento o parte de éste, será siempre necesario recurso humano que brinde seguimiento a dicha serie de trabajos.

Es importante aclarar que el objetivo primordial de la actividad de mantenimiento será la conservación del servicio que están suministrando los equipos y no la conservación, en primer lugar, de la maquinaria misma.

Por tal motivo se deben equilibrarse en las labores de mantenimiento factores esenciales como:

- Calidad económica del servicio.
- Duración adecuada del equipo.
- Costos mínimos de mantenimiento.

3.4.2. Fuentes de falla en una máquina

Las fallas que se originan en un equipo o maquinaria, se ocasionan por:

- La maquinaria o equipo mismo.
- El ambiente circundante.
- El ambiente que en el intervienen (por mantenimiento u operación).

3.4.2.1. La máquina o equipo mismo

Se vuelve una fuente más o menos importante de fallas, dependiendo de las propiedades eléctricas, mecánicas y electrónicas de sus partes; la calidad de los materiales empleados en ella, la bondad del diseño y, por último, la calidad de su instalación en el lugar en donde va a prestar servicio.

3.4.2.2. El ambiente circundante

Se toma como una fuente de fallas cuando es agresivo a la maquinaria, por ejemplo, la humedad y la temperatura fuera de especificaciones, polvo, humo, salinidad o acidez.

3.4.2.3. El personal que interviene

Se comporta como una fuente de fallas cuando sus habilidades manuales y de pensamiento lógico son de baja calidad; también, cuando no conoce en forma plena el equipo que va a mantener; la mano de obra de mantenimiento debe de ser cuidadosamente considerada a fin de adecuarla en calidad y cantidad.

El personal operativo será una fuente de fallas si maneja mal su maquinaria, esto sucede, generalmente por ignorancia. Podría mencionarse un tercer tipo de personal que origina fallas, aquel que tiene que intervenir en las máquinas para modificar su diseño, ampliarla o interrelacionarla con otras.

En cualquier caso, el personal de mantenimiento será el responsable de la buena conservación de la maquinaria, ya que su labor está enfocada a que no se pierda el servicio que este presta.

Todo lo anterior podrá crear el siguiente principio esencial del mantenimiento toda máquina se debe reparar lo menos posible. Las excepciones de intervención para el personal de mantenimiento serán entre otras:

- Hacer periódicamente pruebas y verificaciones de la maquinaria en conjunto, desde el punto de vista del que la opera (o recibe la prestación del servicio).
- Excepcionalmente hacer pruebas y verificaciones sobre alguna parte de la maquinaria, cuando se tenga sospecha de falla en dicha parte.

- Hacer pruebas y verificaciones sobre el comportamiento de la maquinaria en conjunto o alguna de sus partes, para comprobar que trabaja aún sin situaciones de tolerancia.

El más importante de los tres puntos, es el que da la base del mantenimiento preventivo, que consiste en establecer una serie de controles que permitan detectar que la maquinaria está dando el rendimiento requerido y que no sobrepasa los límites de tolerancia, calculados previamente por el fabricante.

Los trabajos de mantenimiento exigen calidad y sobretodo, la aplicación de un criterio económico profundo; en ocasiones es preferible cambiar la parte afectada de una máquina, aunque, a primera vista, parezca costoso cambiarla. Por creerlo más económico, algunas veces se reparan las piezas con el riesgo de no garantizar el funcionamiento continuo del equipo. También existen ocasiones en que es necesario hacer una reparación de emergencia, pero de buena calidad, a fin de programar posteriormente, una reparación adecuada.

Por lo tanto, para que el personal de mantenimiento consiga un criterio adecuado sustentado sobre bases firmes, es necesario establecer, en primer lugar, políticas que determinen cómo debe de actuarse en los casos más comunes del mantenimiento. Después del establecimiento de estas normas, se hace necesario sistematizar el trabajo de mantenimiento, estableciendo procedimientos a fin de ejecutar éste en la forma más repetitiva posible, para así lograr un mejor rendimiento. Con los procedimientos establecidos se puede lograr la simplificación del trabajo al estudiar los métodos que los componen, permitiendo, entre otras cosas, la estandarización del tiempo.

3.4.3. Técnicas principales en las que se basa el mantenimiento predictivo

Se ha considerado conveniente clasificar las técnicas principales en las que se basa el mantenimiento predictivo siguiendo un orden lógico, ya que la mayoría de estas técnicas se han originado en los sentidos humanos (vista, oído, tacto) gracias al desarrollo de instrumentos que aportan una capacidad cuantitativa de los sentidos.

Por ejemplo:

- Técnicas visuales.
- Técnicas ultrasónicas.
- Técnicas de temperatura.
- Técnicas de vibraciones.
- Técnicas electromagnéticas.
- Técnicas de radiación.
- Técnica de análisis de aceite.
- Técnica de monitoreo de velocidad.

3.4.4. Factores del mantenimiento predictivo

Las necesidades de tener una organización apropiada de mantenimiento, de poder programar y planear con acierto, ha sido puesta de relieve por los motivos siguientes:

- Una creciente mecanización. la mecanización cada vez mayor en la industria ha reducido el costo de mano de obra directa; pero, a la vez, ha

impuesto la exigencia de conservar debidamente los medios de producción y el servicio que prestan.

- Aumento de inventario de repuestos. la mecanización en la industria y la complejidad de los elementos que la forma exige la existencia de repuestos y accesorios.
- Controles más estrictos de producción: aun cuando esta clase de controles ha reducido al mínimo los inventarios de materiales entre las distintas operaciones, ha provocado que sea mayor el impacto de las interrupciones en la producción.
- Plazos de entrega cortos: han hecho que disminuyan los inventarios de productos terminados proporcionando un mejor servicio al cliente; al mismo tiempo, han aumentado el efecto perjudicial de las interrupciones en la producción.
- Exigencias crecientes de buena calidad: una buena calidad en el producto terminado mejor las ventajas, pero, también, hace relevante la urgencia de corregir cualquier condición impropia de producción como la calidad de la misma.
- Costos mayores: son el resultado de una mano de obra cada vez más cara y el constante aumento de los precios de materia prima y accesorios. Las reparaciones traen mayor gasto que el mantenimiento, dependiendo del tipo de mantenimiento las fallas disminuyen en el tiempo, en el mantenimiento predictivo el intervalo de tiempo es grande, mientras en el de avería se produce a un intervalo de tiempo pequeño.

3.5. Procedimiento para implementar un programa de mantenimiento predictivo

El primer paso para implementar programas de mantenimiento predictivo es determinar cuál de las diferentes técnicas se aplicará. En la división de maquinaria se tiene establecida la técnica de análisis de aceite, no teniendo ningún seguimiento de la información.

La interpretación de reportes es de manera puntual, no siendo explotado su potencial máximo, que consiste en determinar la tendencia de la maquinaria en cuanto a desgaste, contaminación y comportamiento del paquete de aditivos.

Al tener los reportes enviados por el laboratorio, la información se ingresará al programa, el cual será alimentado con todos los reportes de laboratorio de las diferentes órdenes de trabajo a muestrear.

Cada vez que se ingrese la información es importante que se consulte en el menú principal la opción de acumulado, en donde se puede consultar cuál es el desgaste en el último reporte. Con este dato se puede determinar cuál es el desgaste máximo acumulado antes de entrar a reparación, por supuesto que este resultado se obtiene empleando un método estadístico, además en la opción acumulado se puede consultar la variación existente entre los dos últimos reportes.

Si esta variación es negativa no hay porque preocuparse en cuanto a este rubro, si la variación es positiva indica que las parte por millón han aumentado, si el porcentaje de incremento es mayor del 100 %, es necesario tomar una acción inmediata. Los datos tabulados se interpretan de mejor forma

graficándolos, así se llega a determinar cuál es la tendencia de desgaste en la unidad elegida.

3.6. Importancia de planear el mantenimiento

Lo más razonable es que los problemas de mantenimiento se tengan que plantear con el carácter de una verdadera reorganización de todo o parte del departamento, sustituyendo prácticas inconexas o todo un programa de carácter correctivo, preventivo y predictivo. Dentro de la presente investigación se hace mención únicamente del mantenimiento correctivo, debido a que la empresa a que está dirigido el estudio, cuenta con mantenimiento de falla.

De modo aproximado y teniendo en cuentas las infinitas variedades que puede ofrecer cada oficina de mantenimiento en particular, pueden seguirse las sucesivas fases del plan que se expresa a continuación:

- Recopilar toda la información posible sobre maquinaria, equipo e instalaciones a proteger, formando un eficaz archivo de características donde además aparezca la referencia del equipo, valor, ubicación, repuestos, entre otros.
- Un examen periódico de estos documentos indicara las partes del equipo que deben irse excluyendo del plan. Lógicamente no existe interés en seguir defendiendo una instalación cuando los costos sean superiores a los de reparación e incluso sustitución de la pieza averiada.
- Establecer los ciclos de vigilancia y habilitar los registros de inspección de trabajos realizados en concepto de mantenimiento, reparación y recambio.

- Establecer el programa de capacitación del personal de mantenimiento, apoyado en las necesidades reales de atención a equipos e instalaciones, emanados de las rutinas de mantenimiento.
- Determinar cuál es el desgaste característico en determinado equipo, antes de entrar a una reparación mayor. Seguidamente, todos los equipos que estén sobre el rango deben de entrar a mantenimiento.
- Por medio de métodos estadísticos obtener cuáles son las piezas que con frecuencia fallan, y estar preparados con la existencia de estas piezas en bodega.
- Modificar en caso necesario mediante estudios estadísticos y análisis de puestos las actividades propias de cada una de las categorías presentes en los cronogramas para personal de mantenimiento.
- Realizar un examen crítico para poner en evidencia los elementos que requieren mayor protección, tomando así el carácter de mantenimiento predictivo.
- Establecer el programa final de mantenimiento siguiendo los costos mínimos, para que las visitas de los inspectores no sean frecuentes, pero que tengan en cambio la máxima eficiencia.

3.7. Motores de combustión interna

En un motor de combustión interna, los productos de la combustión son el fluido motriz. Debido a este rasgo simplificador y al alto rendimiento térmico resultante, el motor de combustión es una de las unidades generadoras de

trabajo más ligeras en peso que se conocen y, por lo mismo, su mayor campo de aplicación es la transportación.

El principio del motor de combustión interna es el mecanismo bielaembolo. El combustible se quema dentro del cilindro y al expandirse los productos gaseosos de la combustión, transforman la energía química en trabajo; el movimiento rotatorio se consigue por medio de la manivela. Han transcurrido unos setenta años, desde que el motor de combustión interna hizo su primera aparición como fuente de energía. Durante estos años a reemplazado al motor de vapor y en la actualidad, solamente la turbina de vapor es comparable con él, por lo que respecta a cantidad de energía producida. El progreso del mundo ha sido influido, en gran parte, por este tipo de motor, en el campo de la aviación no se ha encontrado un sustituto satisfactorio. Actualmente, la construcción de motores de combustión para automóviles, lanchas, aeroplanos y trenes, lo mismo para pequeñas plantas de energía, constituyen una de las industrias más grandes del mundo.

3.8. Lubricación

La lubricación consiste en poner una capa fina de substancia lubricante entre dos superficies, en donde una se desliza con relación a la otra. No solamente resulta más fácil el deslizamiento, sino que también se reduce el calentamiento (debido a la fricción), así como el desgaste y corrosión de las mismas.

3.8.1. Lubricación de película fluida

Cuando las velocidades de rotación del eje y la viscosidad del aceite se combinan de tal manera que tiende a formar una cuña de aceite bajo la carga,

se obtiene una película de aceite de unas pequeñas milésimas de pulgada de espesor, lo suficientemente grande para evitar el contacto entre las asperezas del metal haciendo literalmente flotar el eje sobre la cuña de aceite. Se dice entonces que está trabajando con lubricación hidrodinámica o de película fina.

3.8.2. Lubricación mixta

Al existir variación en la velocidad de rotación del eje o temperatura de operación y la carga deja de ser estable para convertirse en carga de impacto, se reduce el espesor de la película de aceite de tal forma que es posible que esta no sea lo suficientemente grande y que eventualmente algunas de las asperezas entren en contacto unas con otras. En este momento se encuentran trabajando bajo lubricación mixta.

3.8.3. Lubricación límite

Al presentarse contacto continuo entre las asperezas de los componentes, se dice que la máquina opera en condiciones o de lubricación límite. Bajo estas condiciones la fricción se hace excesiva y el desgaste es progresivo. Las partículas de desgaste abrasivo que se forman contaminan el aceite y dañan rápidamente las superficies de trabajo, llegando a producirse fallas en las piezas y ocasionando paradas no programadas para su reparación. Sin embargo, el costo del repuesto, mano de obra de reparación y pérdidas de producción cuando la máquina opera bajo condiciones límites, pueden ser controladas con la utilización de agentes antidesgastes o de extrema presión y sólidos auto lubricantes de alto rendimiento.

Todas las piezas que integran un motor de combustión interna se unen firmemente entre sí o se mueven unas contra otras. Las que se mueven unas

contra otras requieren lubricación a fin de reducir el desgaste a un mínimo, así como para producir movimiento uniforme suave en esas piezas e impedir la entrada de agua y polvo.

La lubricación tiene como fin:

- Reducir a un mínimo los esfuerzos de fricción: este objetivo se cumple cuando existe la lubricación hidrodinámica. Sin embargo, se requiere fuerza para mover las piezas en relación unas con otras. Se trata de la fuerza necesaria para superar el efecto de viscosidad del lubricante. La viscosidad debe ser lo suficientemente alta para mantener una película entera pero no mayor de lo necesario, puesto que se incrementa la fuerza necesaria para superarla. Es por tal motivo que los fabricantes especifican la viscosidad recomendada, indicando el número SAE que debe usarse en varias temperaturas atmosféricas. Con el objetivo de asegurar que el lubricante posea viscosidad apropiada pero no excesiva bajo temperaturas normales de operación. Cuando un aceite queda contaminado con sólidos (hollín, polvo, entre otros.) la viscosidad aumenta.

El contacto de metal con metal ocurre bajo condiciones de lubricación fronteriza y de extrema presión que se presentan en varios sectores. En estas condiciones la viscosidad del aceite tiene un efecto muy pequeño en cuanto a reducir la fricción.

- Evitar el contacto directo de metal con metal en las piezas en movimiento.
- Disminuir el desgaste.
- Impedir la oxidación de las piezas.

- Eliminar el carbón, polvo y partículas metálicas.
- Refrigerar internamente el motor.
- Formar una junta para los gases en los anillos del pistón.

Considérese dos superficies solidas en contacto una con otra. Si una de las superficies, debe realizarse con velocidad constante sobre la otra superficie, deberá aplicarse una fuerza tangencial. La relación de la fuerza tangencial a la fuerza normal que mantienen a las superficies juntas, se llama el coeficiente dinámico de fricción (f):

$$f = \text{fuerza tangencial} / \text{fuerza normal}$$

El coeficiente de fricción entre dos superficies secas, tiene a ser constante e independiente de la carga, de la velocidad relativa y de las áreas de contacto, pero varía con los materiales y el acabado de las superficies.

La fricción entre las superficies deslizantes puede reducirse por la presencia de un lubricante entre las superficies en contacto. La función del lubricante al desplazar dos superficies es la de reducir tanto la interferencia mecánica como la atracción molecular.

El objetivo del lubricante es reemplazar la fricción sólida con otra fricción fluida ciertamente menor. Se tiene una imagen de la acción considerando una capa de lubricante adherido a la superficie en movimiento, en tanto que la siguiente capa del fluido se mueve en la misma dirección, pero con un paso más lento; la capa siguiente se mueve más lenta hasta que, finalmente, se llega a cada capa del fluido está sometida a un esfuerzo de corte y la fuerza necesaria para vencer ese esfuerzo, es la fricción fluida.

3.8.4. Propiedades de los lubricantes

Algunos de los lubricantes son obtenidos de derivados del petróleo, sin embargo, al pasar por el proceso de refinamiento no tiene todas las características, con las que se conocen comercialmente. Para obtener estas propiedades se añaden distintos elementos y compuestos (paquete de aditivos), que pueden ser diferentes o variar en formulación, cantidad, entre otros. Dependiendo de las características que se deseen y medio de aplicación. A continuación, se describen las propiedades que debe poseer un lubricante para su eficaz desempeño.

- **Viscosidad:** es la propiedad física más importante de un aceite lubricante derivado del petróleo, es la resistencia a fluir. Los líquidos espesos como las melazas tienen relativamente alta viscosidad, no fluyen fácilmente. Los líquidos más delgados como el agua, fluyen fácilmente y tienen viscosidades bajas. La viscosidad de un líquido no es constante, pues varía con la temperatura. A medida que la temperatura aumenta, la viscosidad en un aceite lubricante desciende y se vuelve más delgado, contrariamente, un aceite se vuelve más espeso si su temperatura se reduce o no fluirá tan rápidamente. Para una aplicación dada, un aceite más liviano debe ser indicado para temperaturas ambientales bajas, mientras que un aceite más pesado es apropiado para temperaturas ambientales altas.

La velocidad con que cambia la viscosidad de un aceite cuando varía la temperatura se ha determinado a través de la comparación con aceite de susceptibilidades térmicas muy pequeñas y, muy grandes. Esta comparación da origen al índice de viscosidad, que es un número indicativo de la velocidad con que cambia la viscosidad con la temperatura.

- Oleosidad: es la propiedad del aceite para adherirse a los cojinetes, no tiene escala cuantitativa o unidad. La oleosidad no tiene relación alguna con la viscosidad. Un lubricante con alta oleosidad, contra otro de baja, tendrá características menores de lubricación límite.
- Alta resistencia de película: concepto que refleja el método de prueba y por ello, solamente se obtienen resultados relativos. En la prueba *timken* (prueba en la cual se aplica un block de acero sobre la parte exterior de un rodamiento especial), se define la resistencia de la película como la carga a la cual puede ocurrir la ligadura, incipiente de cojinete. La oleosidad y la resistencia de película tienen relación, pero cada una es una propiedad completamente diferente. De aquí que un lubricante con buenas características de oleosidad pueda tener una baja resistencia de la película. De todos modos, la resistencia de la película del aceite mineral común es más que adecuada para las cargas encontradas.
- No tener tendencia a corroer: el aceite no debe ser corrosivo, debiendo proporcionar protección contra la corrosión. Es probable que la película absorbida que origina el concepto de la oleosidad, también está referida a la protección de las superficies contra la corrosión.
- Bajo punto de fluidez.
- Sin tendencia a formar depósitos.
- Capacidad limpiadora: un aceite tiene la propiedad de detergencia, si actúa limpiando residuos al motor.

Una propiedad por separado es la habilidad de dispersión, que permite al aceite transportar pequeñas partículas uniformemente distribuidas, sin aglomeraciones. En general, el término detergente es usado para aplicar tanto las propiedades detergentes como la dispersión.

- Capacidad de dispersión: propiedad que permite al aceite transportar pequeñas partículas uniformemente distribuidas, sin aglomeraciones.
- Características de no-formación de espuma: la espuma describe la condición en la cual, diminutas burbujas de aire se mantienen en el aceite, esta acción acelera la oxidación y reduce el flujo de masa del aceite a los cojinetes, reduciendo así la presión.
- Seguridad.
- Bajo costo.

3.8.5. Factores que afectan la lubricación

- Elevadas temperaturas experimentadas durante el proceso de combustión.
- Las cargas sobre los cojinetes no son estables, sino fluctuantes, al igual que la velocidad.
- Condiciones al instante del arranque en frío.
- Contaminación proveniente del medio ambiente.

- Calidad del combustible.

3.9. Análisis de aceite en laboratorio

Propuesta central e importante del siguiente trabajo de investigación.

3.9.1. ¿Qué es el análisis de aceite?

Son procedimientos o métodos analíticos para determinar contaminación, desgaste y degradación del paquete de aditivos en los lubricantes. En particular, la determinación de concentraciones de los compuestos aditivos durante la fabricación podrá resultar difícil, debido a la diversidad de compuestos a menudo presentes, la necesidad de análisis rápido y de satisfacer estrechos rangos de especificación. Afortunadamente, los elementos inorgánicos presentes en muchos aditivos son fáciles de determinar. Debido a que la concentración de cada compuesto es proporcional a la concentración del elemento inorgánico exclusivo de dicho compuesto, las técnicas de análisis elemental rápidas y precisas permiten una alternativa eficaz a los métodos específicos o a los compuestos.

El análisis elemental de los aceites y grasas lubricantes se ha convertido en parte integral de la investigación y fabricación. El análisis elemental es necesario por tres motivos principales:

- caracteriza los ingredientes durante el desarrollo del producto,
- garantiza una formulación correcta durante la fabricación, y la de mayor interés para el presente estudio,

- estudia el comportamiento y contaminación durante el servicio.

Es por ello que se encuentran equipos de análisis en laboratorios de investigación, instalaciones de fabricación e instalaciones de mantenimiento del usuario final. Los laboratorios de prueba comerciales atienden a las necesidades de los usuarios que no cuentan con su propio laboratorio.

Se dispone de una diversidad de técnicas clásicas e instrumentales para la realización de los análisis elementales. Se emplean técnicas gravimétricas, potenciométricas, coulombométricas y volumétricas, pero todas se consideran principalmente métodos de referencia. En gran parte, las técnicas de espectrometría instrumental han reemplazado los métodos clásicos. Dichos métodos se basan en técnicas espectrométricas, entre ellas, fluorescencia de rayos-X, absorción atómica y absorción molecular infrarroja o ultravioleta. Las consideraciones claves para la selección de la mejor técnica incluyen el tipo de producto, los elementos presentes, velocidad, exactitud, precisión, costo, experiencia del personal y disponibilidad de equipos.

Para manejar un problema analítico como el análisis elemental, hay que prestar una cuidadosa consideración a la naturaleza de las muestras y los requisitos impuestos en los resultados del análisis. La composición de la muestra, los elementos a determinarse, la exactitud y precisión necesarias, dictarán la inversión requerida para proporcionar una información adecuada.

Típicamente, las muestras de lubricantes se componen de un aceite básico al cual se han incorporado componentes para dar rendimiento. Según se muestra en la tabla I.

Tabla I. **Aditivos comunes de lubricantes y sus elementos asociados**

ADITIVO	COMPUESTOS TÍPICOS	ELEMENTOS TÍPICOS
Detergentes	Sulfonados metálicos Fenatos metálicos	Na, Mg, Ca, K, Ba
Agentes antioxidantes y de antidesgaste	Ditiofosfatos metálicos Ditiocarbamatos	P, S, Cu, Nz, Mo
Agentes de extrema presión y lubricidad	Naftenatos metálicos Disulfuro de molibdeno Metales en polvo Grafito Ofelinas clorados	P, S, Cl, Cu, Zn Mo, Pb
Antiespumantes	Silicones	Si
Espesadores	jabones	Li, Na, Al, Ca

Fuente: Texaco. *Aditivos utilizados en los lubricantes, boletín: lubricación*. p. 24.

En la fase de la fabricación, hay que analizar los lubricantes nuevos para comprobar su contenido de aditivos, mediante una determinación de los niveles de concentración de elementos presentes como componentes de los mismos.

Los niveles de concentración típicos entre varias partes por millón (mg/kg) hasta varios puntos porcentuales de masa. Los resultados deberán ser exactos para permitir que la planta de mezclado decida si el aceite se ha fabricado correctamente. Asimismo, deberán ser precisos para permitir la toma de decisiones basadas en rangos de especificaciones, típicamente de ± 3 al 10 % dentro de un período de aproximadamente 30 minutos después de haber recibido la muestra.

3.9.2. Objetivos del análisis de aceite

- Reducir averías y consiguientemente tiempos de parada, tiempo muertos y costos.
- Determinar la condición del equipo.
- Establecer periodos de cambio óptimos de lubricantes.

- Evaluar la severidad de las condiciones de trabajo de los equipos.

3.9.3. Análisis y descripción de las principales pruebas

El análisis espectroscópico es un método para determinar la presencia de los diferentes elementos que están presentes en un lubricante, ya sean estos contaminantes o del paquete de aditivos, para el fin de la investigación se refiere a los contaminantes. Para el análisis se mezcla la muestra con un combustible, luego se hace pasar por un atomizador para crear una niebla, seguidamente se incendia. Debido a que cada átomo tiene su espectro exclusivo se sabe que está presente en dicha muestra, la intensidad del espectro es directamente proporcional a la concentración del elemento. Las principales pruebas son las de emisión, absorción atómica y fluorescencia.

Los métodos difieren en la forma que es generado el espectro, en la emisión atómica los electrones en un nivel de energía pasan a otro de menor nivel emitiendo un espectro, en la absorción los electrones pasan a un nivel de energía mayor, en el método de fluorescencia los electrones no pasan de un nivel a otro, si no que absorben un espectro de longitud de onda y reemiten este espectro, pero con diferente longitud de onda.

3.9.2.1. Viscosidad

La viscosidad es probablemente la propiedad física más importante de un aceite lubricante de petróleo, es la medida de las características de flujo del aceite, entre más espeso sea, mayor es su viscosidad y mayor su resistencia a fluir. El mecanismo para establecer la adecuada película de lubricante, depende en gran parte de la viscosidad.

Para evaluar la viscosidad de un aceite, numéricamente, cualquiera de las muchas pruebas estándar puede ser utilizada. Aunque estas pruebas difieren unas de otras en menor o mayor grado, utilizan básicamente el mismo principio. Todas ellas miden el tiempo requerido por una cantidad específica de aceite, a una temperatura dada, para fluir por la acción de la gravedad, a través de un orificio o estrangulamiento de dimensiones especificadas. Entre más espeso sea el aceite, mayor será el tiempo requerido para que pase.

Es importante tener un control estricto de la temperatura. La viscosidad de cualquier aceite del petróleo aumenta cuando el aceite es enfriado y disminuye cuando esta calentado. Por esta razón, el valor de la viscosidad de un aceite debe ir siempre acompañado por el de la temperatura a la cual fue determinado. El valor de la viscosidad, por sí solo, no significa nada.

3.9.2.2. Análisis infrarrojo

Mediante el análisis infrarrojo se determina la oxidación por medio de la medición de los productos de la oxidación. Este análisis mide la absorción infrarroja de varias longitudes de ondas:

- Agua
- Contaminación de un lubricante sintético con hidrocarburos
- Oxidación
- Nitración
- Contaminación con glicol
- Dilución por combustible
- Hollín de la combustión

3.9.3. Métodos y procedimientos para obtener muestras representativas

Las partes principales para tomar la muestra son, bomba de succión, válvula de drenado, válvula de muestreo. Para que la muestra sea representativa es necesario cumplir con los lineamientos siguientes:

- Muestrear siempre en el mismo punto y bajo las mismas condiciones y procedimientos.
- Muestrear antes del filtro.
- La muestra deberá tomarse preferiblemente cuando el equipo está en operación, caso contrario deberá hacerse en un tiempo no mayor de 5 minutos después que el equipo ha dejado de operar.
- Al arranque inicial, tomar la muestra después de 10 minutos de operación.
- Llenar hasta $\frac{3}{4}$ de la capacidad del recipiente.

El análisis elemental, por medio del espectrofotómetro de emisión atómica con plasma inductivo, determina la concentración en partes por millón (PPM) de hasta 21 elementos presentes en el aceite, divididos en subgrupos.

Desgaste de metales: puede ser ocasionado por fatiga, corrosión, abrasión, adhesión, delaminación, oxidación. El muestreo debe hacerse periódicamente o cada vez que el lubricante se cambie, para monitorear la tendencia de desgaste, a continuación, se incluye una de valores puntuales de

desgaste. No es recomendable tomarlos como límites ya que el desempeño de cada unidad se analiza por separado y no siempre se rige en los mismos valores. La forma en que obtienen estos valores puntuales es sacando un promedio de acuerdo a marca, modelo y tipo de maquinaria.

Se podría suscitar un reporte de laboratorio según la investigación, analizando un incremento de 5 a 10 ppm es razón para prestarle atención, ya que indica posible estado anormal de la máquina, arriba de 15 ppm es necesario tomar acción inmediata.

La contaminación contribuye al desgaste y a la corrosión, los tipos básicos de contaminantes son los siguientes: partículas sólidas en suspensión, humedad suspendida, dilución por combustible, otros. Las partículas sólidas en suspensión más comunes son: tierra, partículas metálicas y carbonilla.

Los sólidos se pueden minimizar en los lubricantes si se siguen los siguientes pasos.

- Establecer mal funcionamiento de filtros o cambio de ellos.
- Sellos en mal estado.
- Monitoreo de la contaminación.

Tabla II. Valores de referencia

EQUIPO	Fe	Cr	Pb	Cu	Sn	Al	Ni
Engranajes	300	15	45	40	30	20	10
Transmisión	300	15	45	40	30	20	10
MOTORES							
Cummins	75	5	40	30	40	15	10
Cat	57	7	30	30	40	17	10
Hino	60	5	40	30	40	19	10
Hidráulicos	15	5	10	10	10	15	10
Mandos Finales	300	15	45	40	30	20	10
Reductores	25	5	15	15	15	20	10

Fuente: Shell Guatemala. *Boletín, servicio de diagnóstico de equipos*. p. 23.

Humedad suspendida, es el segundo contaminante más peligroso en el aceite. Los tres estados del agua son:

- Disuelta en solución, el aceite la absorbe hasta el punto de saturación.
- Emulsificada, el aceite se vuelve turbio.
- Libre (lluvia), agua en el fondo del tanque.

El agua en baja cantidad y poco tiempo diluye, en grandes cantidades y mucho tiempo oxida. A continuación, se presentan los efectos de la contaminación con agua.

- Reacciona con aditivos del aceite que son solubles: antidesgaste y antioxidante.
- Forma ácidos y precipitados.
- Aumenta la conductividad.

- Luego de mucho tiempo promueve la oxidación y forma lodos.
- Una gota de agua en un galón de aceite a 180 grados F, destruye el aditivo antidesgaste (Zn) y lo lleva a niveles menores a 100 ppm.
- Agua en estado libre disminuye la vida de cojinetes de 10 a más de 100 veces.

La contaminación con combustible, interrumpe la película de aceite y diluye los aditivos, 5 % de contaminación, disminuye el grado SAE 30 a un SAE 20, el 7 % de contaminación un grado SAE 30 a un SAE 10. Las causas de contaminación de combustible se deben a: fugas en las líneas de combustible, fallos o mala calibración de los inyectores.

La contaminación de carbonilla se debe a: filtro de aire tapado, baja compresión, baja temperatura del motor, desgaste de anillos (soplado), mala operación del spray del inyector. Entre los tipos de contaminación se encuentra el refrigerante (promueve alta viscosidad), aire (es la fuente primaria de oxígeno, cavitación, además de oscurecer el aceite) y las elevadas temperaturas (en un fluido hidráulico el aumentar la temperatura de 100 a 140 grados F, reduce la protección a la mitad por variación en la viscosidad). El aceite tiene su rango de temperatura, si se opera debajo de este, puede extenderse a hasta cinco veces la vida del aceite, cuando la viscosidad se incrementa más del 20 % o disminuye en 10 % se recomienda cambiar el aceite.

Partículas de desgaste de tamaño diminuto son capaces de crear un deterioro considerable en la maquinaria, una partícula de 10 micrómetros es considerada destructiva.

Los elementos de desgaste son los siguientes: hierro (Fe), cromo (Cr), plomo (Pb), cobre (Cu), estaño (Sn), aluminio (Al), níquel (Ni), plata (Ag), titanio (Ti), molibdeno (Mo) y vanadio (V).

Los elementos indicadores de contaminación son los siguientes: sílice (Si), boro (B) y sodio (Na).

Los elementos que determinan la condición del lubricante son los siguientes: magnesio (Mg), calcio (Ca), bario (Ba), fósforo (P), zinc (Zn).

Para complementar el análisis elemental por medio de análisis con infrarrojo, se determina por medio de análisis de infrarrojo, el contenido de: sulfatación, nitración, oxidación, dilución por combustible, glicol y carbonilla. La última prueba que realizan en laboratorio es determinar la presencia de agua en el lubricante.

3.10. Frecuencia de muestreo

Para la determinación de la frecuencia de muestreo hay que tomar los siguientes factores en cuenta:

- El costo del análisis.
- La importancia de los equipos.
- Las metas del programa de mantenimiento.

Si los intervalos de muestreo son demasiados largos, se elimina por completo la posibilidad de establecer tendencias. Cuando un aceite se considera adecuado para seguirse utilizando, significa que, hasta el próximo

intervalo de muestreo, es imposible determinar si el aceite va a retener ciertas propiedades críticas por un periodo muy largo de tiempo.

3.10.1. Frecuencias recomendadas

A continuación, se muestra en la tabla III las frecuencias recomendadas.

Tabla III. **Especificación de frecuencias recomendadas**

TIPO DE UNIDAD	CICLOS (hr)	CONTINUA (hr)	INTERMITENTE
Turbinas	250-500	720	60 días
Sist. hidráulicos	200	720	60 días
Sist. engranajes	200	1440	60-90 días
Sist. de circulación	30 días	30 días	30 días
Motores diésel	Cada cambio de aceite	Cada cambio de aceite	60 días

Fuente: Shell Guatemala. *Tabla de recomendaciones*. p. 33.

Los intervalos listados son una guía de referencia, ya que de los factores siguientes: severidad de la operación, característica del equipo, programas y políticas de mantenimiento, calidad del combustible (cantidad de azufre), calidad del aceite y ambiente en el cual opera el equipo, dependerá el aumento o disminución del período de vida útil del lubricante.

3.10.2. Procesamiento inicial y depuración de la información

El procesamiento inicial es ordenar la información que la empresa encargada de realizar los análisis envía al ingenio, este caso se da cuando la información es recibida en un disco flexible. Debido a que no solo se muestrea el sistema de motor de combustión interna, sino también cajas, diferenciales y sistemas hidráulicos. La información tiene que ser ordenada de la forma que todos los análisis de motor estén en un mismo espacio.

3.10.3. Tabla de desgaste permisible

Para determinar el valor de desgaste y tabular la información, el valor de desgaste se mide con base en las tendencias. Aunque se tienen valores puntuales de desgaste, no es recomendable tomarlos como límites ya que el desempeño de cada unidad se analiza por separado y no siempre se rigen en los mismos valores.

Para obtener los valores guías se saca un promedio de acuerdo a marca, modelo y tipo de maquinaria, un incremento de 5 ppm a 10 ppm o un 100 % es razón para atención: ya que la maquinaria puede presentar un estado anormal, si el incremento está arriba de 15 ppm que representa un incremento del 200 % es necesario tomar una acción inmediata.

Tabla IV. Valores de referencia de ppm

Equipo	Fe	Cr	Pb	Cu	Sn	Al	Ni
Engranajes	300	15	45	40	30	20	10
Transmisión	300	15	45	40	30	20	10
MOTORES							
Cummins	75	5	40	30	40	15	10
Caterpillar	57	7	30	30	40	17	10
Hino	60	5	40	30	40	19	10
Hidráulicos	15	5	10	10	10	15	10
Mandos finales	300	15	45	40	30	20	10
Reductores	25	5	15	15	15	20	10

Fuente: Shell Guatemala 2006. *Partículas por millón*. p. 7.

3.10.4. Determinación del tiempo de vida útil de un motor

Para determinar la vida en operación de un motor de combustión interna, se recurrió a métodos estadísticos. La información se recopiló del control de

servicios y reparaciones de motores de las unidades de la empresa. El estudio se realizó sobre 51 maquinarias pesadas y con datos del 2017 hacia atrás.

Número de datos $N=51$

Dato mayor= 6,16 años dato menor= 1

R= rango k= número de clases

$R= \text{dato mayor} - \text{dato menor} = 5,16$

$K= 1+3,3\log 51 = 6,63$

Intervalo= rango/ núm. de clases = 0,8.

Para determinar la vida de un motor, se emplearon las medidas de tendencia central, específicamente la moda.

Tomando como base que el límite de vida de la mayor parte de los motores se encuentra en el grupo de 5,75 a 6,55 años, el tiempo modal es de 5,75 años. Para determinar la vida en horas es necesario determinar las horas de operación por cada año, las cuales son determinadas según registros, por lo tanto, se tiene que 2 500 horas por año de operación, por el tiempo modal de 5,75, la vida estimada de un motor es de 14 375 horas el cual se encuentra arriba de lo especificado por algunos fabricantes norteamericanos, para condiciones de operación severas que es de 10 000 horas, antes de entrar a reparación.

3.10.5. Interpretación de resultados

La interpretación de resultados es quizá la parte más importante del método. Una vez se extrae la muestra, debe ser llevada al laboratorio para su análisis. El laboratorio procederá a examinar la muestra y reportará los resultados obtenidos. Ahora bien, estos resultados en forma puntual no

significan nada que será un indicador de lo que en el motor ocurrió durante el periodo que el lubricante permanece en operación. El paso siguiente es comparar dichos resultados con los patrones de desgaste estándar. Una vez hecha la comparación, se está en condiciones de establecer si el desgaste es normal.

Además del parámetro antes mencionado, si la diferencia entre los resultados de los dos últimos análisis es grande, definitivamente existe un problema en algún sistema del motor. Si la diferencia de la viscosidad se incrementa más del 20 % o disminuye en 10 % se recomienda cambiar el aceite.

Tabla V. Tendencia de desgaste de las muestras vs. Ideal

Horas de operación	Muestras	Ideal
100	10	15
600	29	21
1 200	20	23
1 800	16,8	15
2 400	14	16
3 000	17	9
3 600	25	18
4 200	15,3	20
4 800	19	23
5 400	22	23
6 000	21	16
6 600	17	18
7 200	17	21
7 800	31	25
8 400	27	29

Fuente: elaboración propia.

Figura 33. **Tendencia de desgaste**



Fuente: elaboración propia.

3.10.6. Rangos de resultados y acciones propuestos.

Para la interpretación de resultados obtenidos se proponen las siguientes acciones para prevenir una posible falla y el paro de la maquinaria no programado.

- **Rojo:** alto total. es necesaria una acción inmediata, en este rango los valores de desgaste son excesivos, se necesita que la máquina sea parada y revisada inmediatamente. En este caso alguna pieza está trabajando en condiciones críticas, es de esperarse su falla y consiguientemente los costos de reparación son elevados.
- **Amarillo:** precaución. Algo anormal sucede en el equipo, cuando el resultado está en este color, los valores de desgaste están sobre el

normal. En estas condiciones, generalmente se requiere una nueva muestra para observar el comportamiento y evolución de ese desgaste. Mientras tanto, el procedimiento de mantenimiento debe ser revisado; probablemente el desgaste que se obtuvo se deba a una falla en el mantenimiento. Así como se debe de revisar el resto de información, además de la de desgaste para determinar cuál es el sistema que posiblemente esté dando problema en el motor.

- Verde: seguir. No se observa nada anormal, indica que el desgaste está dentro de los límites aceptables, es decir, las piezas están sometidas a un desgaste normal.

3.10.7. Causas y efectos de una viscosidad mayor o menor a lo establecido por el fabricante

A continuación, se presenta el conjunto de causas ya establecidas según la recolección de muestras.

3.10.7.1. Causas de viscosidad alta

- Contaminación con refrigerante.
- Uso de lubricante incorrecto.
- Oxidación del aceite
- Producción de hollín, debido a problemas en el sistema de inyección.
- Altas temperaturas de operación.

- Efectos
 - Incremento en los costos de operación.

- Reducción del flujo de aceite.
- Sobrecalentamiento.
- Deterioro del sistema de filtrado, anillos atascados o depósitos en los pistones.
- Acelera el desgaste y la corrosión.

3.10.7.2. Causas de viscosidad baja

- Uso de lubricante incorrecto.
- Dilución por combustible (marcha prolongada sin carga, inyectores defectuosos, tiempo no apropiado, operación a baja temperatura)
- Degradación de aditivos.
- Efectos
 - Lubricación insuficiente.
 - Reduce el espesor de la película del aceite y su habilidad para impedir el contacto de metal con metal.
 - Una reducción grande podría dar lugar a falla de cojinete o aferramiento del pistón.
 - Sobrecalentamiento.

3.11. Guía de mantenimiento de neumáticos

Modelo básico que está compuesto por diferentes tipos de fallas.

3.11.1. Clasificación de fallas

Se presenta una guía de clasificación de fallas en los neumáticos la cual es extraída del manual de una empresa que brinda servicio de reparación y venta de neumáticos a nivel Guatemala. Ver anexos. (manual de fallas en llantas, reclamos).

3.12. Taller mecánico

Unidad responsable de ejecutar las revisiones de la maquinaria, delimitar las fallas recurrentes y repetitivas, solucionar los problemas que se presenten en cada maquinaria y realizar las reparaciones necesarias.

3.13. Bodega

Unidad responsable de contar con el *stock* óptimo necesario de repuestos y lubricantes, también de contar con la herramienta necesaria para poder prestar el servicio de respaldo a los mecánicos.

3.14. Actividades diarias antes de encender la maquinaria

Se diseñó una guía de actividades con el objetivo de realizarse antes de encender la maquinaria, la guía se diseñó de un formato homogéneo para ser aplicado a la mayoría del inventario con que cuenta la empresa. Ver anexos (FEM-001).

3.15. Actividades antes de traslado

Se diseñó una guía de actividades con el objetivo de realizarse antes de trasladar la maquinaria, la guía se diseñó de un formato homogéneo para ser aplicado a la mayoría del inventario con que cuenta la empresa. Ver anexos (FIT-001).

3.16. Factores que influyen en las rutinas de mantenimiento

Existen factores que influyen a la hora de implementar un sistema de mantenimiento y que, por lo general, no se tienen en cuenta. Evidentemente estos factores suponen una carga adicional de trabajo, sin embargo, es mucho mayor el beneficio económico y de tiempo que podemos obtener.

A continuación, se comentan algunos de estos factores que pueden tener gran incidencia.

Codificación: es uno de los sistemas más eficaces y que se suelen ignorar. Es muy importante el tener un sistema de codificación tanto para la documentación, tipos de mantenimiento, equipos y repuestos. Facilitará tener localizado el equipo, ver a qué sistema pertenece, qué documentación tiene asociada (datos técnicos, planos y manuales de reparación), los repuestos asignados al equipo y su ubicación en la bodega, las tareas que tiene asignadas. Todo esto supone un gran trabajo, evidentemente, pero los resultados son realmente positivos, se obtendrá un gran ahorro de tiempo (y el tiempo es dinero) a la hora de localizar documentación y los repuestos adecuados en la reparación de una avería, facilitará la obtención de un histórico de mantenimiento o de reparación, que ayudará para detectar averías repetitivas y erradicar la causa, hacer estimaciones de costes para una

posterior negociación de contratos, control de las tareas e intervenciones en los equipos, actualizaciones de documentación.

- Seguridad: un factor imprescindible. Las tareas de mantenimiento han de realizarse con unas medidas de seguridad adecuadas, el mayor activo de cualquier empresa son los empleados y es una obligación cuidar de ellos. Si los operarios se sienten seguros realizarán las tareas de forma más rápida y eficaz. En ocasiones las medidas de seguridad suponen un aumento en el tiempo de intervención, pero mayor es el tiempo perdido por un accidente y una baja.
- Medioambiente: este factor puede ahorrar dinero con una correcta gestión de los residuos o de ciertos materiales. Íntimamente ligado en muchas ocasiones con la seguridad. En ocasiones se pierde un tiempo precioso en intentar gestionar los residuos, cuando debe ser algo de sentido común y previsto con anterioridad.
- Bodega. consiste en realizar una correcta discriminación de repuestos, existen críticos, comerciales y de plazo de entrega admisible. Es decir, no es necesario tener repuesto de todo, esto genera un inmovilizado excesivo. Hay que realizar una discriminación de repuestos necesarios por su criticidad o plazo de entrega, ver si una avería puede suponer una parada de la producción. Se puede hablar con los proveedores la posibilidad de almacenaje por su parte, ver los plazos de entrega. Optimizando los repuestos y firmando contratos de suministro a medio-largo plazo, puede suponer un gran ahorro de costes.
- Documentación: disponer de la documentación adecuada, actualizada y de fácil acceso, es fundamental a la hora de realizar intervenciones

eficaces, tanto a nivel de reparación como de tarea de mantenimiento. Documentación adecuada al equipo o material, actualizada con las últimas modificaciones que se hayan podido realizar y de fácil acceso, lo que supone disminuir los tiempos de actuación.

Programa de gestión de mantenimiento, no tiene por qué ser excesivamente sofisticado y caro, basta con tener ordenados y disponibles ciertos parámetros necesarios, identificar equipos, asociar repuestos y documentación, historial de intervenciones, entre otros. Supone disponer de una base de datos necesaria para la correcta sistematización del mantenimiento.

Relación entre departamentos: el mantenimiento no se puede considerar como sistema aislado, necesita de una colaboración con otros departamentos, producción, compras, seguridad, medioambiente, recursos humanos, entre otros. Si se favorece la comunicación entre los departamentos se potenciará la colaboración, lo que mejorará la eficacia del trabajo y se aumentará la rentabilidad. Hay que ver a los otros departamentos como complementarios, no como rivales, algo que sucede con frecuencia.

- **Formación:** es necesario mantener al personal informado y actualizado con la correcta formación. Formación sobre equipos, sistemas, materiales, seguridad, entre otros. Todo aquello que sea necesario para realizar y comprender el trabajo, se mejorará la disposición del empleado y aumentará su motivación puesto que percibirá que la empresa invierte en él para que tenga todos los medios a su alcance para realizar un trabajo óptimo.

Trabajando con sentido común estos factores se obtendrán resultados óptimos, se mejorará la eficacia del sistema, se disminuirán las incidencias y tiempos de respuesta y se lograrán mayor rentabilidad en la empresa.

3.17. Hojas de control y supervisión

Se prediseñan según la necesidad de la empresa, según el *stock* de inventario y los requerimientos específicos que se desean controlar. Su objetivo principal es servir de herramienta al supervisor para establecer la operatividad de la maquinaria y realizar la medición de los operarios y mecánicos del taller.

3.18. Historial de reparaciones

A continuación, se realizará una descripción breve como propuesta de un historial de reparación.

3.18.1. Objetivos del historial

Documentar y clasificar todas las reparaciones realizadas a la maquinaria, se debe realizar un archivo digital o físico por cada maquinaria que está a disposición de la empresa.

3.18.2. Recolección de datos y su almacenamiento

Se diseña con el objetivo de obtener la clasificación de fallas recurrentes y continuas de la maquinaria, se deben ordenar por fecha en que se realizó y establecer la falla que fue reparada.

3.18.3. Fichas técnicas

Hojas diseñadas que sirven de guía de trabajo al mecánico y operario de la maquinaria pesada, pueden ser archivadas en las oficinas centrales, en el taller de mecánica y cada una de la maquinaria podrá portar una ficha técnica con breves descripciones y pasos a seguir, si se presentara alguna falla de valoración baja.

3.18.3.1. Maquinaria pesada

Se realizará según el *stock* de maquinaria pesada con que cuente la empresa, incluirá aspectos básicos, tipo de lubricantes, tipo de filtros, tipos de fajas, tipos de combustibles.

3.18.3.2. Vehículos livianos

Se realizará según el *stock* de maquinaria pesada con que cuente la empresa, incluirá aspectos básicos, tipo de lubricantes, tipo de filtros, tipos de fajas, tipos de combustibles.

3.18.3.3. Grúas tipo torre

Se realizará según el *stock* de maquinaria pesada con que cuente la empresa, incluirá aspectos básicos, tipo de lubricantes, tipo de filtros, tipos de fajas, tipos de combustibles.

3.18.4. Control de reparaciones

Actividad realizada y diseñada para el ingeniero a cargo del taller y bodega, el cual tendrá a su disposición los mecánicos dentro y fuera de las instalaciones de la empresa.

3.19. Capacitación al personal.

Diseñar y programar las capacitaciones necesarias hacia el personal de la empresa, estas capacitaciones cumplen la función principal de lograr fortalecer las debilidades e incrementar las fortalezas del recurso humano.

3.19.1. Administrativo

Orientar las capacitaciones con enfoques administrativos, logrando cubrir temas financieros, ejecución de proyectos, minimización de costos y programación.

3.19.2. Mecánicos

Capacitaciones que puedan ser brindadas por empresas o entidades que se especialicen en maquinaria pesada, servicios de torno, empresas con conocimientos en lubricantes, empresas con conocimientos en metalurgia y empresas con conocimientos en frenos.

3.19.3. Supervisores

Capacitaciones técnicas que puedan ser desarrolladas dentro y fuera de la empresa, estas capacitaciones deben ser provistas por personas con record en supervisión de campo y taller en torno a la maquinaria pesada.

3.20. Costos de rutinas de mantenimiento

Es el precio pagado por concepto de las acciones realizadas para conservar o restaurar un bien o un producto a un estado específico.

La finalidad básica de la gestión de costos es estimular la optimización del uso de mano de obra, cantidad de materiales, contratos y minimizar tiempos de paro; estableciendo objetivos atractivos desde el punto de vista de un beneficio potencial y el costo de mantenimiento.

Como encargados de la administración del mantenimiento una de las principales tareas será minimizar los costos de mantenimiento. De los cuales se analizarán los siguientes, considerando los más importantes.

3.20.1. Componente del costo de mantenimiento

Relación entre el costo total del mantenimiento y el costo total de la producción.

El costo total de la producción incluye los gastos directos e indirectos de ambas dependencias (operación y mantenimiento), inclusive los respectivos lucros cesantes.

Tabla VI. **Insumos y mano de obra del mantenimiento**

	Insumo	Costo
1.	Filtro de aceite de motor	Q267,96
2.	Filtro de combustible	Q321,36
3.	Trampa de agua	Q366,40
4.	Filtro hidráulico piloto	Q596,88
5.	Filtro hidráulico retorno	Q347,99
6.	Filtro hidráulico tanque	Q1 043,67
7.	Filtro aire primario	Q1 021,86
8.	Filtro aire secundario	Q684,78
9.	Aceite de motor	Q619,55
11.	Aceite mando finales	Q340,12
12.	1 lb de wipe	Q15,00
13.	Mano de obra	Q90,00
		Q5 715,57

Fuente: elaboración propia.

3.20.2. **Análisis de casos prácticos**

A continuación, se presentan ejemplos de casos prácticos.

3.20.2.1. **Motor**

- Caso 1

Componente afectado: motor marca Cummins de 350 HP modelo 1993.

Diagnóstico del análisis de aceite: combustión en límite normal, tendencia al aumento de carbonilla que es el resultado de una mala combustión.

Causa probable: la causa de producción de carbonilla es una mala combustión originada de una mezcla inapropiada de aire y combustible, las posibles causas que originan este problema es por filtros de aire obstruidos,

sistema de inyección defectuoso, sobrecarga del vehículo, mucho tiempo de marcha o marcha lenta (tiempo en que el motor está en marcha, pero el vehículo está parado), o que no se ha hecho el servicio de aceite y filtros de motor.

Acciones correctivas: con la experiencia del comportamiento de estos motores y el análisis de rendimiento de los kilómetros recorridos por galón de diésel consumido y recorrido, se concluye que a este motor se le tiene que realizar un servicio mayor de inyección y descarbonización. De no realizarse ninguna corrección, el aceite se contaminará rápidamente de carbonilla, aumentará la viscosidad y producirá desgastes de hierro en las camisas. Esto provocará que tenga que hacerse una reparación general (overhaul).

- Caso 2

Componente afectado: motor marca Cummins de 350 HP modelo 1993.

Diagnóstico del análisis de aceite: combustión en límite normal, tendencia al aumento de carbonilla que es resultado de una mala combustión. Se observó que en el resultado del análisis un porcentaje de carbonilla de 0,43 aumentó la viscosidad a 14,64 % y esto provocó un aumento en el desgaste de hierro de 36 ppm.

Causa probable: la causa de producción de carbonilla es una mala combustión originada de una mezcla inapropiada de aire y combustible. Las posibles causas que originan este problema son filtros de aire obstruidos, sistema de inyección defectuoso, sobrecarga del vehículo, mucho tiempo de marcha o marcha lenta, o que no se ha hecho el servicio de cambio de aceite y filtros del motor.

Acciones correctivas: en este caso la carbonilla fue producto de malos hábitos de conducción. Es una costumbre habitual de muchos pilotos de transporte pesado el no apagar el motor del vehículo cuando lo abandonan para hacer algún tiempo de comida, trámites de papelería o cualquier otra actividad. En un período de cambio de aceite se pueden acumular hasta 300 horas o más de marcha. Se habló con el piloto explicándole que apague el motor del vehículo 3 minutos después de concluir su recorrido. Los vehículos modernos cuentan con un dispositivo llamado cierre, el cual apaga el motor después de 5 minutos de marcha.

3.20.3. Maquinaria pesada

A continuación, se detallará una guía de aspectos importantes a considerar en el mantenimiento de maquinaria pesada.

3.20.3.1. Lubricantes

Los costos se deberán establecer de acuerdo a las órdenes de compra actuales de la empresa.

3.20.3.2. Mano de obra

El costo de mano de obra se deberá establecer según la cantidad de operarios disponibles, la cantidad de unidades presentes y los tiempos que se requieren para la ejecución de mantenimientos y reparaciones necesarias.

3.20.3.3. Repuestos

El costo de los repuestos dependerá del historial de órdenes de compras presentes en la empresa.

3.20.4. Grúas tipo torre

A continuación, se detallarán los *ítems* más relevantes a considerar en los mantenimientos de las grúas tipo torre.

3.20.4.1. Lubricantes

Los costos se deberán establecer de acuerdo a las órdenes de compra actuales de la empresa.

3.20.4.2. Mano de obra

El costo de mano de obra se deberá establecer según la cantidad de operarios disponibles, la cantidad de unidades presentes y los tiempos que se requieren para la ejecución de mantenimientos y reparaciones necesarias.

3.20.4.3. Repuestos

El costo de los repuestos dependerá del historial de órdenes de compras presentes en la empresa.

4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

4.1. Sistema de clasificación de fallas recurrentes

Modelo de propuesta de un sistema de fallas recurrentes.

4.1.1. Metodología del sistema de mantenimiento predictivo

La metodología para el programa de mantenimiento se conformará de las siguientes etapas, se recomienda realizar el muestreo y recolección de datos de las fallas recurrentes, se realizará por el método de observación directa a la maquinaria junto con el mecánico de taller, se definirá la muestra o muestras de las fallas para crear el historial y solucionarlas por reparaciones o sustitución de repuestos nuevos.

4.2. Clasificación de fallas reportadas con factor recurrente

Modelo de propuesta para la clasificación de fallas en los reportes de las guías de mantenimiento.

4.2.1. Fallas por desgaste

Realizar el historial como iniciativa de la implementación del presente programa de mantenimiento, si ya existiese un historial, clasificar cuales han sido las fallas encontradas y delimitar del por qué se está presentando dicha falla, se deben analizar los entornos a la falla, si se está provocando por fricción rose o desgaste de uso común.

Figura 34. **Desgaste por fricción**



. Fuente: elaboración propia.

Figura 35. **Desgaste por lubricación**



Fuente: elaboración propia.

Figura 36. **Desgaste por carga y rodamiento**



Fuente: elaboración propia.

4.2.2. **Fallas por fractura**

Delimitar la causa, realizar una revisión a su entorno de 360 grados, establecer si ha estado sometida a cargas mayores a las especificaciones técnicas o si tiene presente armonías altas de vibraciones.

Figura 37. **Ruptura por sobrecarga**



Fuente: elaboración propia.

Figura 38. **Fisura por fatiga**



Fuente: elaboración propia.

Figura 39. **Fisura por fatiga**



Fuente: elaboración propia.

4.2.3. Fallas por fatiga superficial

Establecer si la maquinaria a estado expuesta a ambientes extremos y con erosiones, si se ha realizado recubrimientos químicos en su estructura y si ha sido lubricada según las especificaciones técnicas, sino se cuenta con dicho historial, se recomienda realizar un mantenimiento preventivo, el cual consistirá en eliminar las fallas encontradas, aplicar el recubrimiento con agentes químicos que eviten ser erosionadas y engrasar los elementos rodantes expuestos.

Figura 40. Fisuras por vibraciones



Fuente: elaboración propia.

Figura 41. **Fractura por sobre esfuerzo**



Fuente: elaboración propia.

Figura 42. **Falla por corrosión**



Fuente: elaboración propia.

4.2.4. Fallas por flujo plástico

Realizar revisiones programadas, de preferencia antes de arrancar la maquinaria y después de la jornada de trabajo, se deben revisar todas las entradas de oxígeno a los ductos de combustión, también las rejillas donde se encuentran los filtros de aire, para evitar que un objeto extraño pueda estar obstruyendo el flujo necesario y constante.

Figura 43. Revisión toma de aire



Fuente: elaboración propia.

4.3. Factores administrativos que inciden en fallas mecánicas recurrentes

A continuación, se destacarán los ítems importantes a considerar el factor administrativo de los mantenimientos.

4.3.1. Repuestos y lubricantes

Conjunto de suministros necesarios para los mantenimientos.

4.3.1.1. Cotización previa

Se propone realizar cotizaciones previas antes de ejecutar la compra de los suministros y repuestos, se deben tomar en consideración factores importantes tales como: calidad del producto, tiempo de entrega, referencia del proveedor y el factor más importante el mejor costo, realizar la cotización con tres diferentes proveedores.

La persona encargada o responsable de realizar la cotización, deberá poseer los conocimientos técnicos y detallados de lo que se está requiriendo, si la persona no posee estas habilidades se le deberá de capacitar en torno al *stock* de los suministros y repuestos necesarios que utiliza la empresa.

4.3.1.2. Ejecución de compra

Se propone establecer que el responsable de taller y mecánicos sea quien realice y ejecute las compras necesarias, ya que esta persona se encuentra en contacto directo con la maquinaria además debe cumplir con el perfil técnico necesario para trabajar con la maquinaria pesada.

Dentro de las funciones y obligaciones del personal responsable de la unidad de taller, es poseer un historial detallado de las reparaciones realizadas a cada una de la maquinaria disponible de la empresa, así como un indicador de los posibles agentes internos y externos que provocaran la falla en una o en todas las unidades.

Se deberán validar las bitácoras de mantenimiento propuestas para las unidades y equipos, con el objetivo de crear un archivo único y detallado por cada unidad que dispone la empresa.

4.3.2. Mecánico

Personal a cargo de realizar las reparaciones y los mantenimientos.

4.3.2.1. Stock actualizado de inventario

Se deberá establecer y realizar la actualización del inventario presente, para establecer cuáles son los repuestos con mayor demanda, repuestos con mayor tiempo de abastecimiento y repuestos que no son necesarios tenerlos físicamente.

Con este inventario actualizado se mejorará el flujo de efectivo como mínimo en un 5 %, se podrán establecer los manejos de *stock* y realizar las proyecciones necesarias para pedidos a futuro.

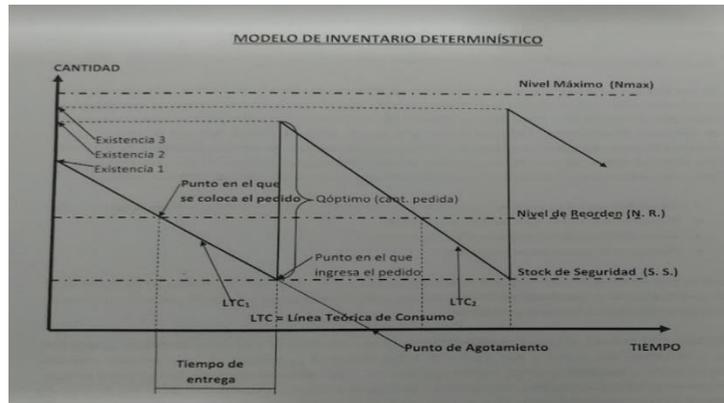
4.3.2.2. Cronograma de rotación de inventario

Está ligado al ítem anterior, luego de obtener y establecer el inventario actualizado, se podrán realizar las proyecciones sugeridas para la rotación y dotación de inventario.

Se propone utilizar la teoría de manejo de materiales, la cual establece que según los pronósticos de demanda se procede a planificar la requisición de materiales necesarios que serán utilizados. Una adecuada gestión de inventarios es fundamental para reducir los costos de una empresa, ya que la cantidad provisionada debe estar de acuerdo al plan de producción para que, tanto en bodega como en almacén, no debe existir saturación de materiales que representen demasiado capital invertido que no está generando utilidad; por otro lado, el *stock* de materiales en existencia debe ser el adecuado para que en un momento dado la producción no deba detenerse por falta de repuestos.

El manejo de materiales está íntimamente relacionado con los modelos de inventarios para demanda dependiente e independiente, se utilizarán estos conceptos para determinar cuánto tiempo y cuanta cantidad se requiere de repuestos, de tal forma que se optimice el *stock* de repuestos al más bajo costo.

Figura 44. **Modelo de inventario determinístico**



Fuente: elaboración propia.

- Definición de los componentes del gráfico

Existencia: cantidad de repuestos en un momento dado.

- Planificado: cantidad de repuestos requeridos acorde al plan de mantenimiento, regularmente abarca todo el tiempo que se está trabajando.
- Ciclo: intervalo de tiempo (normalmente en meses) en que se va expresar el programa de mantenimiento.
- Nivel máximo (Nmax): cantidad máxima de repuestos que podemos tener almacenados, este valor está en función al tiempo de vida y garantía de los repuestos según sus fabricantes.

$$N_{max} = (\text{planificado/ciclo}) \times R_{nmax}$$

Rnmax= criterio establecido por el proveedor (tiempo que el material puede estar almacenado)

- Nivel de reorden (N.R.): cantidad de repuestos en la cual es necesario colocar un pedido o requisición.

$$N. R. = (\text{planificado/ciclo}) \times Rnr.$$

Rnr= período de tiempo que resulta del promedio de las últimas entregas de repuestos (X_{prom})

Stock de seguridad (S.S.) = cantidad mínima de repuestos que debemos tener almacenados, de manera que forme una especie de colchón de seguridad para evitar llegar al punto de agotamiento, esto se hace con el objetivo de prever situaciones imprevistas.

$$S.S. = (\text{planificado} / \text{ciclo}) \times Rss.$$

Rss= período de tiempo definido por la diferencia entre el tiempo de entrega más tardío y el promedio calculado para N. R. (pedido más tardío – X_{prom}).

- Línea teórica de consumo (LTC): cuando la línea teórica de consumo interseca al nivel de *stock* de seguridad, nos indica la fecha en que ingresa el pedido a nuestra bodega, se define por:

$$LTC: (\text{existencia} / \text{planificado}) \times \text{ciclo}.$$

- Cantidad optima de pedido (Q_{opt}): cantidad del pedido óptimo de repuestos, para mantener en bodega y satisfacer los imprevistos de la maquinaria pesada, se define así:

$$Q_{opt}: (2 \times S.S.) + N.R.$$

- Existencia1: cantidad de repuestos al inicio del período del plan de mantenimiento a trabajar (son valores que regularmente se tabulan en tarjetas tipo Kardex las cuales llevan un control de entradas y salidas de material), representa el inventario inicial en bodega o almacén.
- Existencia2: cantidad de repuestos luego de haber demandado en el mantenimiento programado y la cantidad óptima de pedido (Q_{opt}) ya hizo su ingreso a la bodega, se calcula así:

$$\text{Existencia2: } Q_{opt} + S.S.$$

Con este valor se puede calcular el nuevo $LTC2 = (\text{existencia2} / \text{planificado}) \times \text{ciclo}$.

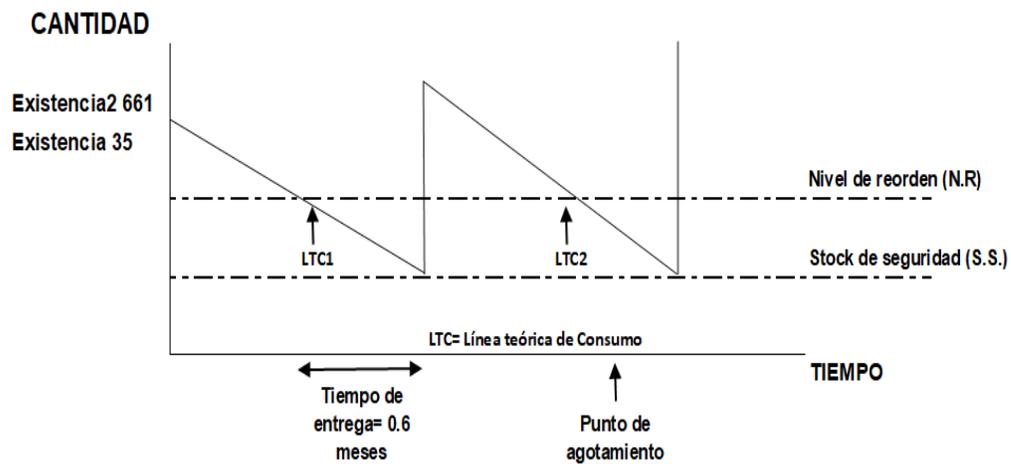
- Punto de agotamiento: punto en el cual la existencia de repuestos es cero; si se llega a ese punto, inevitablemente los mantenimientos se interrumpen por falta de insumos. Para evitar tal situación, se utiliza el concepto de stock de seguridad.
- Para la presente investigación se realizó el siguiente cálculo:

Tabla VII. **Datos**

Existencia: 35 repuestos	Ciclo: 3 meses
Planificado: 65 repuestos	Nmax: 300 puestos
$N.R. = (65/3) \times 0.6 = 13$	$S.S. = (65/3) \times 10 = 216$
$L.T.C. = (35/65) \times 3 = 1.6$	$Q_{opt.} = (2 \times 216) + 13 = 445$
Existencia 2 = $445 + 216 = 661$	$L.T.C.2 = (661/65) \times 3 = 31$

Fuente: elaboración propia.

Figura 45. **Manejo de repuestos en bodega de la empresa**



Fuente: elaboración propia.

4.3.3. Supervisor de mantenimientos

Es la persona a cargo del personal que efectúa las reparaciones y mantenimientos de las unidades.

Tabla VIII. Programa de implementación de proyecto

Núm.	Actividad a desarrollar	Responsable	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
1	Reunión para determinar la situación actual	Personal de mantenimiento capacitado y adiestrado.						
2	Identificar las debilidades en taller							
3	Implementación de estrategias							
4	Pruebas del plan piloto.							
5	Autorización de gerencia para la implementación.							

Fuente: elaboración propia.

4.3.3.1. Tiempos estimados de reparación

Establecer un sistema homogéneo y estandarizado para las diferentes acciones de respuesta ante las fallas recurrentes, el sistema deberá contener los tiempos necesarios para realizar reparaciones, cambios de piezas, *stock* de inventario, supervisión fuera de instalaciones donde se necesite realizar trabajos suplementarios y complementarios y diferentes piezas de la maquinaria pesada.

4.3.3.2. Reducción de costos de mano de obra

Al lograr determinar el mejor sistema de tiempos de reparaciones con los mecánicos, se lograrán reducir tiempos dobles de jornadas laborales, o tiempos

extras de mano de obra, así como el sub contratar a empresas que prestan servicios tercerizados de reparaciones mecánicas.

Tabla IX. **Clasificación de costos por hora**

CLASIFICACIÓN	precio/hora	horas/día	total	mes
normal	Q15,00	8	Q120,00	Q3 360,00
Extras	Q35,00	6	Q210,00	Q5 880,00
sub contratación	Q80,00	14	Q1 120,00	Q31 360,00

Fuente: elaboración propia.

De la tabla IX, se aprecia claramente un aumento en los costos por mantenimiento al no realizar una efectiva programación, si la mano de obra actual con el recurso humano de la empresa se realiza en la jornada habitual de trabajo, seria de Q3 360,00 por mes, si con la programación ideal no se logra cubrir el objetivo de trabajo y reparaciones se incurrirá en pagar horas extras, las cuales ascienden a Q. 5 880,00 por mes.

Si la empresa no posee el personal capacitado y con destrezas técnicas y mecánicas para poder solucionar los problemas que presente la maquinaria, realizar los mantenimientos según sea el planteamiento del encargado de la unidad de taller, se deberá recurrir a la sub contratación de una empresa que pueda realizar dichos requerimientos, pero esta sub contratación reflejará un costo mensual de Q.31 360,00 mensuales.

De lo anterior se refleja un ahorro en gastos innecesarios y aumentos de los costos de mantenimientos sin recurrir al uso de horas extras de Q.25 480,00, si no se sub contrata una empresa externa o mano de obra

externa se puede reducir un costo mensual de Q.28 000,00, siendo un impacto elevado hacia la economía de la empresa.

4.4. Factores ambientales que inciden en fallas mecánicas recurrentes

A continuación, se detallaran algunos factores importantes y relevantes que inciden en las fallas mecánicas por el entorno ambiental.

4.4.1. Análisis diario del sistema atmosférico

El personal a cargo del mantenimiento de la maquinaria pesada, deberá realizar monitoreos atmosféricos continuos, para determinar el tipo de clima donde está posicionada la maquinaria ejecutando proyectos, si la maquinaria se encuentra con condiciones óptimas y seguras para poder operar o si se necesitara establecer un paro por precauciones.

4.5. Factores de riesgo que afectan los traslados de carga industrial

A continuación, se detallan los factores importantes que podrían afectar a los traslados de la carga industrial.

4.5.1. Cálculos y especificaciones de carga a trasladar

Obtener la información detallada y técnica de las medidas exactas de dimensionamientos de la carga extradimensionada o normal a trasladar, también el dato exacto del peso y tara de las unidades necesarias que se emplearan en el traslado.

4.5.2. Estado físico y mecánico de unidades para traslado y de grúas tipo torre

Responsabilidad adquirida al departamento de mantenimiento, junto con la unidad de taller, se debe considerar que las unidades deben presentar el estado óptimo operativo para ejecutar los traslados, al optimizar los mantenimientos se prevén futuras fallas mecánicas y retrasos en ruta de traslado.

Tabla X. Estado físico y mecánico de unidades para traslado y de grúas tipo torre

Item	Sin programación	Con programación
Motor	Sin datos	B/m
Lubricantes	Sin datos	B/m
Batería para arranque	Sin datos	B/m
Luces exteriores	Sin datos	B/m
Cabina	Sin datos	B/m
Neumáticos	Sin datos	B/m
Estado de cables	Sin datos	B/m
Estado de neumáticos	Sin datos	B/m
Estado de frenos	Sin datos	B/m
Sistema eléctrico	Sin datos	B/m
Equipo de seguridad	Sin datos	B/m
Estado exterior	Sin datos	B/m
Estado de cabina	Sin datos	B/m
Estado de estructura	Sin datos	B/m
Estado de cables	Sin datos	B/m

Fuente: elaboración propia.

4.6. Factores de riesgo en operación de grúas tipo torre

A continuación, se presentan los factores más importantes a considerar que podrían determinar algún tipo de riesgo en la operación de una grúa tipo torre.

4.6.1. Cálculos y diseños de operación y montaje

Responsabilidad adquirida al departamento de ingeniería, utilizar software de última generación como herramienta, analizar el entorno donde se realizan las operaciones de las grúas, ya que un mal diseño podría ocasionar accidentes industriales.

4.6.2. Destreza del personal a cargo de la operatividad de las torres

Es de suma importancia contar con personal altamente capacitado, de preferencia se requerirá que los operarios y ayudantes que participan maniobrando las torres, puedan poseer certificaciones y capacitaciones extranjeras y nacionales, con el fin de aumentar su conocimiento y destrezas operativas.

4.6.3. Estado físico y mecánico de las grúas tipo torre

Responsabilidad adquirida al departamento de mantenimiento, junto con la unidad de taller, se debe considerar que las unidades deben presentar el estado óptimo operativo para ejecutar los proyectos, al optimizar los mantenimientos se prevén futuras fallas mecánicas y retrasos en la ejecución de los proyectos.

4.7. Sistema de documentación y registro

Planteamiento para la mejora en el proceso del control de los mantenimientos y registros históricos de la empresa.

4.7.1. Ingreso a predio

Ficha diseñada y propuesta para el control de ingreso a predio, su función será proporcionar un historial de los movimientos en la empresa.

4.7.2. Egreso de predio

Ficha diseñada y propuesta para el control del egreso del predio, su función será proporcionar un historial de los movimientos en la empresa.

4.7.3. Ingreso a proyecto

Ficha diseñada y propuesta para el control de ingreso a los proyectos, su función será proporcionar un historial de los movimientos en la empresa.

4.7.4. Egreso de proyecto

Ficha diseñada y propuesta para el control de egreso a los proyectos, su función será proporcionar un historial de los movimientos en la empresa.

4.7.5. Plan de ruta de traslado

Ficha diseñada y propuesta para el control de ruta de traslado, su función será proporcionar un historial de los movimientos en la empresa.

4.7.6. Seguridad industrial

Se fundamenta en los principios de la salud y seguridad ocupacional legislada según ley para la República de Guatemala.

4.7.6.1. Equipo de protección personal

Proveer por parte de la empresa, el EPP necesario al personal que se encuentra laborando y ejecutando los proyectos de montajes industriales y traslados de maquinaria pesada.

4.7.6.2. Equipo de señalización

Realizar un inventario inicial del equipo presente en la maquinaria pesada, para determinar si se debe dotar de nuevo equipo y colocar equipo en unidades donde sea necesario.

4.7.6.3. Radio de comunicación en estado operativo

Establecer el estado actual de todas las unidades, si se necesitaran cambios o reparaciones ejecutarlas para presentar el estado óptimo de las mismas.

4.7.6.4. Cinturones de seguridad

Establecer el estado actual de todas las unidades, si se necesitaran cambios o reparaciones ejecutarlas para presentar el estado óptimo de las mismas.

4.7.6.5. Extintores

Equipo de seguridad industrial, que cumple el objetivo de contener y sofocar la presencia de fuego en las instalaciones de la empresa y en las unidades de maquinaria pesada.

4.7.6.5.1. Inventario y clasificación

Establecer el inventario actual, si alguna unidad no contara con dicho dispositivo se deberá de proveer inmediatamente.

Determinar y establecer si los dispositivos que se encuentran presentes, son los idóneos para el uso que se les necesitara dar.

Al realizar el inventario se debe establecer si los dispositivos de seguridad se encuentran en periodo operativo, si se necesitara cambiarlos se deberá ejecutar sustituyendo por uno operativo.

4.8. Costos debidos a la mejora de mantenimientos

A continuación, se toman en consideración los costos importantes a considerar en la mejora de un mantenimiento.

4.8.1. Suministros de repuestos

Se espera reducir el costo en suministros de repuestos, luego de realizar el inventario inicial y establecer los requerimientos necesarios para futuras reparaciones.

4.8.2. Rotación de inventario

La rotación de inventario será ejecutada en función directa de las proyecciones de reparaciones y mantenimientos ya programados, respetando la programación de mantenimientos se espera reducir el inventario a su estado óptimo.

4.8.3. Mano de obra

Según sea la programación de inventario se aumentará la eficacia de la ejecución de la mano de obra, ya que no se realizarán reprocesos y tampoco se esperan tiempos de ocios en el recurso humano.

4.9. Beneficios esperados en la reducción de fallas inesperadas

Análisis planteado en el presente trabajo de investigación que espera obtenerse a corto plazo si se llega a realizar la implementación de la propuesta.

4.9.1. Aumento de tiempo efectivo en proyectos

El tiempo efectivo será la medición establecida en la reducción de tiempos de ocios, por otra parte, se espera que el personal de taller este trabajando con una programación efectiva diseñada.

4.9.2. Reducción de costos en compras de repuestos

Luego de establecer y ejecutar las capacitaciones al personal a cargo de compras, se espera que se reduzcan los costos en compra de repuestos en un 5 %, otro factor importante que se utilizará es el inventario actualizado de

bodega para poder establecer cuáles son los repuestos presentes y cuáles serán los repuestos necesarios.

4.9.3. Eliminar los paros inesperados de la maquinaria pesada

Con la programación diseñada por el departamento de mantenimiento, se reducirán exponencialmente los paros inesperados, reduciendo el factor de fallas mecánicas inesperadas.

4.9.4. Aumento de utilidades de la empresa

La empresa obtendrá el aumento de sus utilidades reduciendo los paros inesperados de la maquinaria pesada, efecto directo de la implementación del programa de mantenimiento predictivo.

4.9.5. Proveer de seguridad operativa al recurso humano

El factor de seguridad operativa al recurso humano, se definirá a la implementación de las capacitaciones necesarias, las capacitaciones serán definidas según el rol que presente cada unidad dentro de la empresa.

4.10. Beneficios y costos

Con el nuevo sistema de recepción de suministros y repuestos, se obtendrán muchas ventajas, las cuales agilizarán el proceso de mantenimiento, proporcionara orden y seguridad, además permitirá controlar los gastos de una mejor manera.

Entre algunos beneficios se puede mencionar:

- Se sabrá la cantidad de insumos y repuestos que está ingresando mediante la implementación del manejo de materiales propuesto.
- Permitirá saber con certeza la cantidad de suministros y repuestos, para saber si es necesario realizar pedidos o si se tiene el *stock* necesario para la programación de los mantenimientos.
- Se pueden comparar los repuestos sustituidos con los nuevos requerimientos, para saber si logran cumplir con las especificaciones necesarias hacia la maquinaria en especial donde serán reemplazados.
- Se tendrá un mejor control en la seguridad laboral para evitar accidentes y hacer más eficientes a los trabajadores.
- Al implementar y ejecutar el programa de mantenimiento predictivo, reflejará en la empresa ahorros monetarios en concepto de pérdidas de tiempo en mano de obra, pagos de horarios extras y la subcontratación de empresas que realizan los mantenimientos reactivos.

En relación a los costos de mano de obra no requiere ningún costo adicional ya que únicamente se debe realizar una reorganización del recurso humano de la unidad de taller, asignándoles las funciones establecidas para la gestión y programación, diaria, semanal o mensual.

5. MEJORA CONTINUA O SEGUIMIENTO

5.1. Control y seguimiento del programa de mantenimiento

Se recomienda que mediante el proceso de seguimiento a las propuestas a implementar sea necesario controlar todos los aspectos que intervengan en el plan de acción y procedimientos de la eficaz gestión de programación para los mantenimientos predictivos, de esta forma se podrán supervisar y mejorar los programas diseñados, con el fin de obtener datos relevantes de los objetivos planteados.

5.2. Supervisión constante en informes detallados de los pedidos para taller

Será de suma importancia supervisar y comparar de forma periódico las diferentes solicitudes de cotización y ejecución de compras de suministros y repuestos, para realizar la comparación técnica entre los pronósticos del manejo de materiales y lo real.

5.2.1. Estadística de controles de los resultados de los mantenimientos

Al implementar el nuevo programa de mantenimiento predictivo, se necesitará implementar una medida de medición de control, aplicándose a la gestión de inventarios para corroborar si los pronósticos de la programación se ejecutan tal cual se diseñó.

Dentro de esta estadística se analizarán los resultados obtenidos y evaluados donde puedan existir las posibles fallas en el sistema de mantenimiento que actualmente utiliza la empresa, se recomienda realizar los ajustes necesarios luego de la presente propuesta e implementar los cambios adecuados, para obtener una mejora constante en el sistema de operatividad de la empresa.

Las estadísticas mensuales se realizarán con la recolección de datos obtenidos de las fichas y bitácoras de mantenimientos diseñadas especialmente para la empresa, donde estarán plasmados todos los datos relevantes que incurrieron al paro de la maquinaria, distancias recorridas y tiempos de trabajos realizados, sustituciones de repuestos y reparaciones menores, por lo cual es de suma importancia ejecutar con criterio profesional el llenado de dichas boletas para crear un histórico exacto.

Para obtener una estadística efectiva en el control de los resultados es conveniente determinar los suministros y repuestos salientes del departamento de taller para los mantenimientos realizados según sea la demanda por parte de la maquinaria, comparar con los que se generaron en los ingresos mensuales a bodega de taller por si existiera alguna desviación se deberá determinar cuál fue la causa o la fuente de dicha desviación, estos análisis se recomienda realizarlos por lo menos una vez al mes por el encargado del departamento de mantenimiento.

Se recomienda realizar periódicamente un inventario físico a la bodega de taller que también debe ser comparado con la información acumulada de los ingresos del inventario para verificar las posibles diferencias que puedan existir y evaluar las causas, para realizar los ajustes necesarios a la implementación del programa de mantenimiento.

5.2.2. Revisión y análisis en la implementación de la propuesta

Se recomienda realizar una periódica revisión y evaluación del desempeño de la propuesta para la gestión de mejora continua del mantenimiento será indispensable, ya que de esta manera se puede garantizar el cumplimiento de las diversas tareas que tiene a cargo el personal, asignando responsabilidades en los participantes de cada proceso y de esta forma se podrá analizar y verificar su desempeño de cada tarea asignada, detectando posibles alteraciones en algunas partes de los procedimientos y poder corregirlas a tiempo para aumentar los resultados.

5.3. Revisión programada periódicamente del programa de mantenimiento

El modelo del programa de mantenimiento predictivo propuesto, no se debe detener como un plan fijo establecido, ya que este se basa en la mejora continua y prevención de fallas de la maquinaria presente y futura de la empresa, se propone que en la transición de esta propuesta sea más completo y eficiente, debido a las constantes variables presentes donde se ejecutan los proyectos y las demandas de trabajo de la maquinaria.

5.4. Evaluación del desempeño del personal a cargo del mantenimiento

El análisis de los puestos de trabajo, los perfiles de competencia y habilidades personales de cada uno para los diferentes cargos, podrán presentar las realidades presentes de cada uno del recurso humano y realizar un análisis determinístico, para poder obtener el resultado cuales son los

trabajadores que cumple o no con los requisitos demandados hacia las tareas designadas, con el objetivo principal de obtener el resultado de sus debilidades y fortalezas, para enfocar el plan de mejora continua y capacitación.

5.5. Mejora continua en la gestión

El mercado demandante guatemalteco es meramente globalizado, presentando competencias de diferentes empresas que podrían proveer los mismos servicios, para lograr diferenciarse se lograra mediante la mejora continua, por lo cual será de vital importancia revisar los procedimientos establecidos, aplicando las propuestas al diseño del programa de mantenimiento, revisar constantemente los equipos y herramientas utilizados en el programa para lograr alcanzar los objetivos fijados, no descuidando el recurso humano que también deba ser capacitado y motivado que de ellos depende la ejecución del programa de mantenimiento propuesto, siendo piezas vitales dentro de la empresa.

5.6. Análisis de la información

Se conformará como la parte del sistema de gestión de inventarios de suministros y repuestos, siendo de relevancia e importancia, ya que debido a este sistema se podrá visualizar los datos que incurren y tomar decisiones inmediatas o programadas a largo, mediano o corto plazo para la mejora del mismo.

Los reportes deberán generarse periódicamente y estos deben ser reportes de recepción y de salidas de suministros y repuestos, los reportes de recepción deberán ser con base a un listado de pedidos que incluyan los costos requeridos, para su futuro análisis.

El análisis estadístico es de suma importancia, analizando los diferentes factores que son influyentes, dicho porcentajes pueden ser por su relevancia los insumos utilizados en taller, los repuestos sustituidos, la determinación y clasificación de las fallas recurrentes en las diferentes unidades, estos análisis también pueden ser complementados por los análisis de las muestras de laboratorios propuestos, los cuales serán el indicador de la calidad, cantidad y porcentajes de desgaste en las unidades de maquinaria pesada.

Los reportes deberán generarse periódicamente o por lo menos una vez al mes, en formato digital, de acuerdo a la clasificación de cada una de las unidades, el sistema deberá proporcionar cualquier reporte en el momento que sea requerido.

5.7. Cronograma de revisión de la maquinaria pesada

Tarea a cargo del supervisor de proyectos, se recomienda realice una plantilla donde presente los aspectos relevantes, internos y externos de la maquinaria pesada, niveles de fluidos, accesorios como extintor, conos de tránsito, entre otros.

Se deberán realizar supervisiones continuas, de preferencia todos los días de la semana, si la maquinaria pesada se encuentra en área rural o a largas distancias de las oficinas centrales, por lo menos se debe realizar una supervisión por semana.

5.8. Retroalimentación entre personal encargado de la gestión de mantenimiento

Será de suma importancia dar crédito a las observaciones y propuestas de las personas que se encuentran en el desarrollo de la propuesta y ejecución de la mejora, se podrá obtener una visión integral, ya que el personal a cargo de las tareas a ejecutar expondrá los problemas que observa, las posibles soluciones que parecerán más objetivas, sobre las cuales se podrán analizar y diferencia si pueden ser aplicadas o no, con el único fin de optimizar los tiempos, agilizar las reparaciones y eficientizar el sistema por completo.

La forma operativa de realizar estas acciones, será mediante reuniones por la mañana en días específicos y agendados dentro del cronograma de actividades de la empresa, su objetivo será el mantener informado a todo el personal involucrado sobre las debilidades y fortalezas de la implementación del programa de mantenimiento.

Trabajando en conjunto, operarios, supervisores y personal jerárquico alto administrativo, se podrán aplicar estrategias y herramientas de la administración como: planeación, organización, dirección y control, para implementar nuevas acciones que se crean convenientes para la corrección de posibles problemas o para la mejor administración de la planeación requerida de suministros, repuestos y ordenes de mantenimiento.

5.9. Evaluación de resultados

En la evaluación de resultados se trabajará en conjunto con los colaboradores que participan en toda la gestión y así tomar las decisiones que puedan servir para corrección o mejora en los factores evaluados, los factores

de mayor enfoque e incidencia al análisis serán; el recurso humano, los procedimientos y el programa de mantenimiento en general.

El objetivo principal de la evaluación de resultados será un enfoque basado en el proceso utilizado para optimizar las mejoras continuamente al programa de mantenimiento predictivo. Al realizar la evaluación, se podrá determinar que exista una deficiencia en el programa que será importante que todos los esfuerzos sean dirigidos objetivamente a solucionarla y eliminarla. Si se llegara a la conclusión de que no existe ningún inconveniente, atraso, o problema de algún área del programa de mantenimiento se deberá enfocar todos los esfuerzos en la búsqueda de oportunidades que puedan mejorar el sistema.

Las utilizaciones de herramientas administrativas son de suma importancia y servirán de apoyo para la evaluación y toma de decisiones del sistema de administración, programación y ejecución, entre algunas se pueden proponer: reuniones gerenciales, diagramas estadísticos, diagramas de problemas, FODA, histogramas, entre otros.

5.10. Mejoras en el programa de mantenimiento

En esta era y conforme avanza la tecnología, es de vital importancia estar actualizados y utilizar las diferentes herramientas necesarias para tratar de mejorar de forma constante los procesos, procedimientos y acciones a tomar, se deberán actualizar los que se consideren obsoletos o renovarlos para lograr hacer más productivo el trabajo.

Para lograr realizar una mejora en el programa de mantenimiento predictivo será necesario presentar la propuesta ante la gerencia de la

empresa, detallando la información pertinente que sea fácil de interpretar y evaluar para tomar una decisión sustentada y justificada por la propuesta.

La aprobación de una propuesta de mejoras en el programa de mantenimiento debe ser analizada con base en un análisis económico, calidad de los insumos y repuestos, satisfacción del recurso humano, políticas internas de la empresa y factores del entorno ambiental, todo esto unificado hacia la idea central y objetividad de crear una ventaja competitiva de la empresa hacia su entorno y competidores, serán factores determinantes para que sea aprobado y ejecutado un nuevo proyecto.

5.11. Registro de piezas que han presentado fallas mecánicas

Con el adecuado historial de registro de piezas que han presentado fallas mecánicas se obtendrá la recurrencia de las fallas críticas y medias, el objetivo principal, será, el buscar la causa que está provocando dicha falla, si no se logra establecer la causa, se deberá proponer a la empresa la adquisición de repuestos con diferente distribuidor, si el problema persiste se deberá sustituir la marca del repuesto adquirido, luego de este proceso si la falla persistiera, se deberá contactar al fabricante de la unidad para que realice la evaluación pertinente y presente el reporte necesario.

CONCLUSIONES

1. El implementar un plan de mantenimiento predictivo dentro de las empresas que se dedican a trabajar diariamente con maquinaria pesada y unidades de transporte, ofrecería la mejora continua esperada, reduciendo los paros inesperados.
2. Contar con el historial actualizado de reparaciones realizadas a las unidades de transporte y maquinaria pesada, de manera digital y en kardex es de suma importancia para toda empresa, siendo la fuente de consulta inmediata de la hoja de vida por cada una de sus unidades.
3. Los paros inesperados en la empresa han sido repetitivos y con mayor frecuencia, es el efecto inmediato de no contar con el programa de mantenimiento adecuado ante la alta demanda de sus unidades.
4. Se deberán clasificar las fallas recurrentes, las exteriores en toda la estructura de la maquinaria pesada, en sus articulaciones, mangueras de baja y alta presión, en los neumáticos, sistema de frenos, sistema eléctrico de control de mandos y muy importante en el motor de combustión interna, así como en los complementos.
5. El realizar los cambios de lubricante en el tiempo oportuno les proporcionara a los componentes internos de los motores de combustión interna y en las cajas de transmisión una adecuada protección de sus superficies, reduciendo al mínimo el desgaste por rozamiento de superficies en los engranajes.

6. MOVECO, actualmente se encuentra implementando nuevos sistemas de controles de inventarios de rotación de repuestos, logrando demostrar que se ejecutarán las recomendaciones realizadas obteniendo beneficios económicos y de tiempo.
7. Las capacitaciones serán de vital apoyo al personal que se encuentra diariamente en contacto con la maquinaria pesada, para prestar un mejor servicio laboral y ser eficientes en sus programaciones de jornadas laborales.
8. Con la rutina de mantenimiento diseñada con detalle para cada una de las unidades de maquinaria pesada y transporte, se logrará una mejora continua en el taller, para disponer del tiempo efectivo del recurso humano, reducir horas extras o jornadas dobles de trabaja, esto es de beneficio inmediato hacia la empresa en reducción de gastos no cuantificados o incluidos en futuros proyectos.

RECOMENDACIONES

1. Implementar el adecuado programa de mantenimiento predictivo a las empresas que prestan servicios de montaje y transporte industrial, ayudará a reducir significativamente los costos no contemplados por fallas inesperadas.
2. Elaborar y llevar a diario un registro de fallas corregidas y pendientes de corregir, con el propósito de programar los mantenimientos por categoría, pequeño, mediano a mayor.
3. Realizar un análisis de lubricación a todas las unidades que se encuentran en el activo disponible para ejecutar futuros proyectos, para determinar el nivel de desgaste de los componentes internos de los motores de combustión interna y las cajas de transmisión. Esto ayudará a predecir fallas en las unidades analizadas y programar los paros que fueren necesarios, con un tiempo prudencial para su ejecución.
4. Se recomienda realizar el cambio de lubricante al cumplir su tiempo de vida limite según especificaciones del fabricante o según el ritmo de trabajo requerido hacia la unidad analizada, sin el debido control del tiempo de vida útil el lubricante pierde sus propiedades físicas y químicas y no realiza en los componentes la protección necesaria. Se deben verificar que los niveles de lubricante siempre sean los adecuados, para evitar que algunos componentes internos sean atacados por desgaste, desbaste y ruptura.

5. Dar continuidad a las capacitaciones diseñadas al personal de las diferentes áreas dentro de la empresa, realizar métodos de valuación y sistemas de medición de aprendizaje del recurso humano que ha podido participar, si se presentan debilidades cognoscitivas por el personal, deberá de implementarse la forma adecuada para transmitir los conocimientos requeridos que contemplan las capacitaciones.

6. Se recomienda utilizar los meses de baja demanda para realizar la mayoría de todos los mantenimientos predictivos, aprovechando cuando las unidades se encuentren en el predio de la empresa para así poder disponer del recurso humano, de insumos y de los repuestos que ya se han programado con tiempo pertinente y que puedan estar disponibles en la bodega del taller.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALTMAN, Carolina. *El análisis de aceite como herramienta del mantenimiento proactivo en flotas de maquinaria pesada*. [en línea]. <<http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/0607lubricacion.pdf>>.2005>. [Consulta: 15 de agosto de 2018].
2. American trucking associations, INC. *Recommended maintenance practices manual*. Estados Unidos: A.P.I., 1992. 193 p.
3. Caterpillar In. *Knowledge Network by Caterpillar University*. [en línea]. <<https://kn.cat.com/knhome.cfm>>. [Consulta: 15 de agosto de 2018].
4. Caterpillar Inc. *Entienda las pruebas de los servicios SOSSM*. Estados Unidos: Caterpillar Inc., 2003. 120 p.
5. Caterpillar Inc. *Cómo tomar una buena muestra de aceite*. Estados Unidos: Caterpillar Inc., 2000. 77 p.
6. Caterpillar Inc. *El aceite lubricante y su motor*. Estados Unidos: Caterpillar Inc., 2005. 129 p.
7. Hino motors, LTDA. *Manual de administración de servicios*. Japón: A.P.I., 1987. 90 p.

8. Mercedes Benz. *Administración del mantenimiento de flotas*. Brasil: A.P.I., 1987. 182 p.
9. Transportes terrestres y aéreos C.A.S.A. *Manual de administración de servicios*. Guatemala: A.P.I., 1993. 182 p.
10. Volkswagen Motors. *Manual mantenimiento*. [En línea]. <<https://www.maquinariaspesadas.org/blog/6489-manual-mantenimiento-camiones-vw-motor-componentes-sistemas-esquemas>>. [Consulta: 28 de diciembre de 2018].

APÉNDICES

Apéndice I. **Ficha diseñada y propuesta, utilizar antes de encender la maquinaria, FEM-001**

FEM-001	FECHA:	PILOTO:	MARQUE X SI NO LO TIENE, CHEQUE SI LO TIENE
No. 00001	KILOMETRAJE:	UNIDAD:	
	HOROMETRO:	UBICACIÓN:	
Cinturon de seguridad		OBSERVACIONES: GOLPES, RAYONES, NIVELES BAJO DE LUBRICANTES, ETC.	LUBRICANTES
Equipo de Limpieza			Nivel de motor
Espejo interior			Nivel de caja
Luz interior			Nivel de dirección
Radio		CABINA:	Nivel de frenos
Espejos laterales			
Faroles delanteros			Liquido refrigerante
Pidevias delanteros			
Limpiabrisas			EQUIPAMIENTO BASICO
Bocina de calle			Tricket
Stops/pidevias traseros		OBSERVACIONES:	Llave de chuchos
Luz de placa			Triangulos/conos
Luz de retroceso			Extintor
Alarma de retroceso			
Luces laterales			
Bateria			
Documentos de unidad			
Tanques de combustible			
_____		PILOTO	_____
			SUPERVISOR

Fuente: elaboración propia.

Apéndice II. **Ficha diseñada y propuesta, utilizar antes de realizar un traslado, ingreso o egreso del predio, FIT-001**

DEP. MANTENIMIENTO		FIT-001						
EQUIPO:		ADM.	CLIENTE:					
SERIE:		M.						
MODELO:		A.	ORIGEN:					
NO. PLACA:		C.	DESTINO:					
	SALIDA		ARRIBO		RESPONSABLE	DIESEL	ODOMETRO	HOROMETRO
TRASLADO	FECHA	HORA	FECHA	HORA				
ORIGEN								
DESTINO								
HORA INICIO REVISION:								
HORA FINALIZACION REVISION:								
ITEM	DESCRIPCION	SI	NO	ITEM	DESCRIPCION	SI	NO	
LUCES	Frontal de servicio			Sistema de Izaje	Prueba de mandos			
	Direccionales delanteras de parqueo				Prueba de freno de cabina (tornamesa)			
	Direccionales traseras de parqueo				Estructura del boom (fisuras, golpes)			
	De stop y señal trasera				Gancho (desgaste)			
CABINA	Rotacion sobre la cabina			Pasteca (pasadores y roldanas)				
	Bocina, alarma de retroceso			Cable Principal (desgaste y lubricación)				
	Butaca (rota, descosida, manchada)			Grilletes				
	Cinturón de seguridad			Eslingas y Cables				
	Limpiabrisas (agua)			Polines y Pads				
	Extintor (vencimiento y carga)			Conos y señalización				
	Indicadores (aceite/hidraulico, volt, aire)			Caja de herramientas				
	Sistema Electrónico LMI			Cadena para delimitación				
	Sistema Eléctrico (encendido)			Equipo de carretera				
	Escalera, pasamanos, estribos			Equipo de contingencia ambiental				
Estado Mecánico	Luz interior (cabina)			Equipo para pinchadas				
	Vidrio frontal y lateral (puertas)			Polo a Tierra				
	Control fugas de hidráulico y aceite			Mínimo 4 conos				
	Batería (nivel, bornes, cables)			Extintor Exterior				
Llantas	Caja y Transmisión			Cadenas				
	Prueba dirección delantera y trasera			Revisión técnico mecánica				
	Niveles de aceite, hidráulico, agua			DOCU				
	Engrase General			MENTO				
Sistema de Frenos	Labor (min 3mm de huella)			S DEL				
	Cortaduras profundas o abultamientos			EQUIP				
	Llanta/s de repuesto			O				
	Chuchos completos							
Sistema de Anclaje	Golpe en Aros			NOTA: ME COMPROMETO A REALIZAR EL PRESENTE DIAGNOSTICO, DE LA FORMA MAS RESPONSABLE Y PROFESIONAL POSIBLE, YA QUE EL RESULTADO DE UNA MALA CALIFICACION PODRIA INCURRIR EN ALGUN ACCIDENTE INDUSTRIAL. LAS OBSERVACIONES SERAN ANOTADAS EN LA PARTE POSTERIOR DE LA PRESENTE PAGINA.				
	Fuga de aire							
	Control fugas de aire							
	Prueba freno de servicio (pedal)							
Sistema de Anclaje	Prueba freno de parqueo							
	Indicador Luz tablero freno motor							
Sistema de Anclaje	Prueba freno eléctrico							
	Extensiones Gatos							
	Prueba Gatos hidráulicos							
Revisión fugas hidráulico								
Revisión Mangueras y zapatas								
NOMBRE, DPI, PERSONA RESPONSABLE QUIEN REALIZA LA INSPECCION:								
FIRMA:								

Fuente: elaboración propia.

Apéndice III. **Ficha diseñada y propuesta, utilizar para el control de mantenimientos, FIM-001**

DEP. MANTENIMIENTO				FIM-002							
EQUIPO:			PROP.	MOTIVO DE REVISION O REPARACION: _____							
SERIE:				RESPONSABLE: _____							
MODELO				AUTORIZO: _____							
NO. PLACA											
		INICIO		FIN		DIESEL		ODOMETRO		HOROMETRO	
UBICACIÓN	FECHA	HORA	FECHA	HORA	INICIO	FIN	INICIO	FIN	INICIO	FIN	
PREDIO											
PROYECTO											
ORDEN DE TRABAJO:											
INSPECCIONAR O REVISAR: _____											
DIAGNOSTICO:											
TAREAS A EJECUTAR: _____											
MATERIAL A UTILIZAR: _____											
TRABAJOS MECANICOS EXTERNOS A REALIZAR: _____											
NOTA: ME COMPROMETO A REALIZAR EL TRABAJO MECANICO, DE LA FORMA MAS RESPONSABLE Y PROFESIONAL POSIBLE, YA QUE EL RESULTADO DE UN MAL TRABAJO PODRIA INCURRIR EN ALGUN ACCIDENTE INDUSTRIAL. LAS OBSERVACIONES SERAN ANOTADAS EN LA PARTE POSTERIOR DE LA PRESENTE PAGINA.											
NOMBRE, DPI, PERSONA RESPONSABLE QUE SUPERVISO LA ORDEN DE TRABAJO REALIZADA.											
FIRMA:											

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Coeficientes de fricción en engranajes, cojinetes y rodamientos

Mecanismo	Coeficiente de fricción									
	Sólida f _s		Fluida f _f		EHL f _c					
	Min.	Sint.	Min.	Sint.	Generación					
					1ra		2da		3ra	
Min.	Sint.	Min.	Sint.	Min.	Sint.	Min.	Sint.	Min.	Sint.	
Rodamientos										
- Rígido de bolas.	0,015	0,013	0,0085	0,00765	0,011	0,010	0,009	0,008	0,008	0,007
- Bolas cont. angular.	0,020	0,018	0,0090	0,00800	0,014	0,012	0,012	0,011	0,011	0,010
- Bolas a rótula.	0,010	0,009	0,0080	0,00720	0,009	0,008	0,008	0,007	0,007	0,006
- Axial de bolas.	0,013	0,011	0,0083	0,00740	0,010	0,009	0,009	0,008	0,008	0,007
- Rodillos cilíndricos.	0,011	0,009	0,0081	0,00720	0,009	0,008	0,008	0,007	0,007	0,006
- Rodillos cónicos, esféricos y a rótula.	0,018	0,016	0,0088	0,00790	0,013	0,012	0,011	0,010	0,010	0,009
- De agujas.	0,022	0,019	0,0095	0,00850	0,015	0,013	0,013	0,012	0,012	0,011
Engranajes										
- Cilíndricos de dientes rectos y helicoidales.	0,045	0,040	0,0100	0,00900	0,027	0,024	0,024	0,022	0,022	0,020
- Sinfin-Corona. (1)	0,065	0,058	0,0200	0,01800	0,042	0,038	0,038	0,034	0,036	0,032
Cojinetes lisos	0,060	0,054	0,008 (2)	0,00720	0,034	0,030	0,030	0,027	0,028	0,025

Notas:

(1) Por lo regular los engranajes sinfin-corona no trabajan bajo condiciones de lubricación hidrodinámica.

(2) Este coeficiente de fricción se calcula más exactamente a partir del Número de Sommerfeld.

(3) El coeficiente de fricción equivalente f_e para aceite salpicado por engranajes es de 0,010 y para aceite aplicado a presión es de 0,005.

Fuente: Shell. *Coeficiente de fricción*. <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/calculo-del-ahorro-de-energia-por-menor-friccion/>. Consulta: 14 de octubre de 2018.

Anexo 2. Propiedades típicas de aceites lubricantes en norma ISO

Propiedad Físico-Química	Método de Ensayo		Unidades	Cifras Típicas								
	Covenin	ASTM		Grado AGMA	ISO 68(*)	ISO 100(*)	ISO 150	ISO 220	ISO 320	ISO 460	ISO 680	ISO 1000
Viscosidad @ 40° C	424	D 445	cSt	68	100	150	220	320	460	680	1000	
Viscosidad @ 100 ° C	424	D 445	cSt	8.5	11.5	14.5	19.0	24.0	30.0	36.0	45.4	
Índice de Viscosidad	889	D 2270	Adm	95	95	95	95	95	95	95	85	
Punto de Fluidez	877	D 97	° C	- 12	- 6	- 6	- 3	- 3	- 3	- 3	- 3	
Punto de Inflamación	372	D 92	° C	220	220	220	230	230	240	240	245	
Densidad Relativa @ 15.6 °C	1143	D 1298	Adm	0.880	0.880	0.890	0.900	0.900	0.900	0.920	0.930	
Protección herrumbre	-	-	Adm.	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	
Corrosión al cobre 3h @ 100° C	872	D 130	Clas.	1b	1b	1b	1b	1b	1b	1b	1b	
Protección al desgaste (1)	-	-	mm	0.25	-	-	0.25	-	-	-	-	
Timken, OK	-	-	Lbs	60	-	-	60	-	-	-	-	
FZG	-	-	Etapas	12	-	-	12	-	-	-	-	
Demulsibilidad	1393	D 2711	mL	87.0	-	-	87.0	-	-	-	-	
Agua libre			mL	0.0	-	-	0.0	-	-	-	-	
Emulsión			%	0.3	-	-	0.6	-	-	-	-	
Agua en aceite												
Espuma	1389	D 892	mL/mL	0/0	-	-	0/0	-	-	-	-	
Secuencia I			mL/mL	10/0	-	-	0/0	-	-	-	-	
Secuencia II			mL/mL	0/0	-	-	0/0	-	-	-	-	
Secuencia III												
Estabilidad oxidación (2)	-	D 943	%	2.0	-	-	3.4	-	-	-	-	
Aumento viscosidad												
Nº precipitación				0	-	-	0	-	-	-	-	

Fuente: Shell. *Cifras típicas*. <http://www.elretono.com.ve/productos/lubricantes/engranajes>.

Consulta: 14 de octubre de 2018.

Anexo 3. **Equivalencias entre diferentes sistemas de clasificación de la viscosidad**

Equivalencias entre los diferentes sistemas de clasificación de la viscosidad						
Grado ISO	Grado ASTM	Grado AGMA	Grado SAE			
			Motor		Engranajes	
			Unigrado	Multigrado	Unigrado	Multigrado
10						
15	75					
22	105		OW, 5W		75W	
32	150		10W			
46	215	1	10,15W			
68,68EP	315	2, 2EP	20W,20	10W30,20W20	80,80W	
100,100EP	465	3,3EP	25W,30	5W50, 15W40		
150,150EP	700	4,4EP	40	15W50, 20W40		
220,220EP	1000	5,5EP	50		90	85W-90
320,320EP	1500	6,6EP				85W-140
460,460EP,460C	2150	7,7EP,7C			140	
680,680EP,680C	3150	8,8EP,8C				
1000,1000EP,1000C	4650	9,9EP,9C				
1500,1500EP,1500C	7000	10,10EP,10C			250	

Fuente: Shell. *Equivalencias*. <https://www.widman.biz/boletines/2.html>. Consulta: 14 de octubre de 2018.

Anexo 4. **Límites de viscosidad de aceites lubricantes a ciertas temperaturas**

Grado ISO	Límites de viscosidad					
	cSt/40°C		SSU/100°F		SSU/210°F	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
2	1,98	2,42	32,8	34,4		
3	2,88	3,52	36,0	38,2		
5	4,14	5,06	40,4	43,5		
7	6,12	7,48	47,2	52,0		
10	9,00	11,00	57,6	65,3	34,6	35,7
15	13,50	16,50	75,8	89,1	37,0	38,3
22	19,80	24,20	105,0	126,0	39,7	41,4
32	28,80	35,20	149,0	182,0	43,0	45,0
46	41,40	50,60	214,0	262,0	47,1	49,9
68	61,20	74,80	317,0	389,0	52,9	56,9
100	90,00	110,00	469,0	575,0	61,2	66,9
150	135,00	165,00	709,0	871,0	73,8	81,9
220	198,00	242,00	1047,0	1283,0	90,4	101,0
320	288,00	352,00	1533,0	1881,0	112,0	126,0
460	414,00	506,00	2214,0	2719,0	139,0	158,0
680	612,00	748,00	3298,0	4048,0	178,0	202,0
1000	900,00	1100,00	4864,0	5975,0	226,0	256,0
1500	1350,00	1650,00	7865,0	9079,0	291,0	331,0

Fuente: Shell. *Límites de viscosidad*. <https://www.widman.biz/boletines/2.html>. Consulta: 14 de octubre de 2018.