



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Posgrado de Ingeniería

**DETERMINACIÓN *IN SITU* DE COMPONENTES CRÍTICOS PARA EL MANTENIMIENTO
PREVENTIVO DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS DE PAVIMENTACIÓN DE CONCRETO
HIDRÁULICO, PARA CARRETERAS DE PRIMER ORDEN EN GUATEMALA**

Ing. Douglas Kenedy Román Ávila

Asesorado por el MSc. Ing. Luis Rolando Román Ávila

Guatemala, noviembre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DETERMINACIÓN *IN SITU* DE COMPONENTES CRÍTICOS PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS DE PAVIMENTACIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO, PARA CARRETERAS DE PRIMER ORDEN EN GUATEMALA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. DOUGLAS KENEDY ROMÁN ÁVILA
ASESORADO POR EL MSC.ING. LUIS ROLANDO ROMÁN ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
EXAMINADOR	Ing. César Augusto Akú Castillo
EXAMINADOR	Ing. Pedro Miguel Ágrede Girón
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



Facultad de Ingeniería
Decanato
Teléfono 2418-9142

Ref. APT-2014-020

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 Postgrado, al Trabajo de Tesis de la Maestría en Mantenimiento titulado: **“DETERMINACIÓN IN SITU DE COMPONENTES CRÍTICOS PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS DE PAVIMENTACIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO, PARA CARRETERAS DE PRIMER ORDEN EN GUATEMALA”**, presentado por el Ingeniero Electricista **Douglas Kenedy Román Ávila**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

MSc. Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, noviembre de 2014.



Facultad de
Ingeniería
Escuela de Estudios
De Postgrado
Teléfono 2418-9142

La Directora de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **“DETERMINACIÓN IN SITU DE COMPONENTES CRÍTICOS PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS DE PAVIMENTACIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO, PARA CARRETERAS DE PRIMER ORDEN EN GUATEMALA”** presentado por el Ingeniero Electricista **Douglas Kenedy Román Ávila** apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Mayra Virginia Castillo Montes'.



Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
Directora

Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, Noviembre de 2014.

Cc: archivo
/la



Facultad de
Ingeniería
Escuela de Estudios
De Postgrado
Teléfono 2418-9142

Como Revisor de la Maestría en Mantenimiento del Trabajo de Tesis titulado **“DETERMINACIÓN IN SITU DE COMPONENTES CRÍTICOS PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS DE PAVIMENTACIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO, PARA CARRETERAS DE PRIMER ORDEN EN GUATEMALA”**.
Presentado por el Ingeniero Electricista **Douglas Kenedy Román Ávila**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
Directora

Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, Noviembre de 2014.


Cc: archivo
/la



Facultad de
Ingeniería
Escuela de Estudios
De Postgrado
Teléfono 2418-9142

Como Coordinador de la Maestría en Mantenimiento y revisor del Trabajo de Tesis titulado **“DETERMINACIÓN IN SITU DE COMPONENTES CRÍTICOS PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS DE PAVIMENTACIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO, PARA CARRETERAS DE PRIMER ORDEN EN GUATEMALA”**, presentado por el Ingeniero Electricista **Douglas Kenedy Román Ávila**, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


MSc. Ing. César Augusto Akú Castillo
Coordinador de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, Noviembre de 2014.

Cc: archivo
/la

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser una importante influencia en mi camino y haberme permitido lograr esta meta.
Mis abuelos	Saturnino Román y María Ventura, por ser un ejemplo en mi vida.
Mis padres	Pedro Román y Sara Ávila de Román, por su amor incondicional.
Mis hermanos	Rolando y Jack, por ser mi inspiración a seguir en mi formación académica.
Mi novia	Londy López, por su amor y apoyo en todo momento.
Mis amigos y compañeros	Por su constante motivación a lograr un nuevo objetivo.
Usted en especial	

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.
Facultad de Ingeniería	Por su colaboración en este nuevo logro académico.
La empresa Tecún	Por su colaboración y aporte bibliográfico en equipos de pavimentación.
La empresa Iberinsa	Por su importante aporte de información.
CONASA	Por su apoyo y aporte en temas de pavimentos.
MSc.Ing.Rolando Román	Por ser mi asesor, hermano y guía en todo momento.

Y, a todas las personas, operadores de equipos y supervisores de proyectos de pavimentación que me apoyaron para que el trabajo de graduación de postgrado fuera realizado.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII	
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX	
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XI	
GLOSARIO.....	XIII	
RESUMEN.....	XVII	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS		
ORIENTADORAS.....		XIX
JUSTIFICACIÓN.....		XXI
OBJETIVOS.....		XXIII
ALCANCES.....		XXV
RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO.....		XXVII
TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....		XXIX
INTRODUCCIÓN.....		XXXI
1.	ANTECEDENTES.....	1
1.1.	Pavimentos.....	2
1.1.1.	Elementos que integran la estructura de un pavimento.....	2
1.1.2.	Tipos de pavimentos.....	3
1.1.2.1.	Pavimento flexible.....	3
1.1.2.1.1.	Mezcla asfáltica.....	4
1.1.2.2.	Pavimento rígido.....	4
1.1.2.2.1.	Concreto hidráulico.....	5
1.1.2.2.1.1.	Materiales....	5

	1.1.2.2.2.	Requisitos para la clase y Resistencia.....	5
	1.1.2.2.3.	Equipo de pavimentación.....	7
	1.1.2.2.3.1.	Pavimentadora con formaleta deslizante.....	7
	1.1.2.2.3.2.	Pavimentadora con formaleta fija.....	8
1.2.		Clasificación regional de carreteras.....	8
1.3.		Mantenimiento.....	9
	1.3.1.	Tipos de mantenimiento.....	10
	1.3.1.1.	Correctivo.....	10
	1.3.1.2.	Preventivo.....	10
	1.3.1.3.	Predictivo.....	11
	1.3.1.4.	Proactivo.....	12
1.4.		Mantenimiento preventivo.....	13
	1.4.1.	Ventajas.....	14
	1.4.2.	Software de mantenimiento.....	14
	1.4.3.	Plan de mantenimiento.....	16
	1.4.3.1.	Partes.....	17
	1.4.3.2.	Actividades.....	18
	1.4.3.3.	Frecuencia.....	19
	1.4.4.	Programación de actividades de mantenimiento.....	19
	1.4.4.1.	Actividad programada por fechas.....	22
	1.4.4.2.	Actividad programada por especialidad.....	22
	1.4.4.3.	Actividad programada por medición.....	23
	1.4.4.4.	Actividad programada por lecturas.....	23

	1.4.4.5.	Actividad programada por prioridad.....	25
	1.4.5.	Paros programados.....	25
	1.4.6.	Recursos.....	26
	1.4.6.1.	Mano de obra.....	27
	1.4.6.2.	Proveedores.....	28
	1.4.6.3.	Control de herramientas.....	29
	1.4.7.	Inventario.....	30
	1.4.8.	Órdenes de trabajo.....	31
1.5.		Fallas.....	32
	1.5.1.	Tipos de fallas en equipos.....	34
	1.5.2.	Métodos de evaluación de condición de falla en equipos.....	37
	1.5.3.	Beneficios.....	39
1.6.		Tribología del mantenimiento.....	40
	1.6.1.	Lubricación.....	40
	1.6.2.	Fricción	41
	1.6.3.	Desgaste.....	41
	1.6.4.	Aplicaciones.....	41

2.		CARACTERIZACIÓN DE LOS EQUIPOS EMPLEADOS PARA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS DE PRIMER ORDEN EN GUATEMALA.....	43
	2.1.	Naturaleza y clasificación de los equipos.....	43
	2.1.1.	Equipo primario.....	43
	2.1.1.1.	Pavimentadora o esparcidora de concreto.....	44
	2.1.1.1.1.	Partes.....	45

2.1.1.2.	Máquina de texturizado superficial o texturizadora.....	46
2.1.1.2.1.	Partes.....	47
2.2.	Inventario.....	47
2.3.	Fichas técnicas y manuales de usuario.....	48
3.	PRINCIPALES ACTIVIDADES A REALIZAR PARA LA EJECUCIÓN DEL MANTENIMIENTO <i>IN SITU</i> DE LOS EQUIPOS DE PAVIMENTACIÓN.....	49
3.1.	Generalidades.....	49
3.2.	Antecedentes.....	50
3.2.1.	Políticas de mantenimiento preventivo del Proveedor.....	51
3.2.2.	Acciones realizadas en caso de falla.....	52
3.3.	Definición de las acciones a realizar para ejecutar el adecuado mantenimiento de los equipos <i>in situ</i>	54
3.3.1.	Equipo primario.....	55
3.3.1.1.	Pavimentadora o esparcidora de concreto hidráulico.....	55
3.3.1.1.1.	Revisión y reemplazo de tuberías de presión hidráulica.....	56
3.3.1.1.2.	Revisión y reemplazo de filtros para fluidos.....	58
3.3.1.1.3.	Carenajes de eje o caracol de esparcido.....	61

	3.3.1.1.4.	Implementación de actividades de mantenimiento preventivo <i>in situ</i>	64
	3.3.1.1.5.	Tornamesa de desplazamiento.....	69
	3.3.1.2.	Equipo de texturizado y curado de Concreto.....	70
3.3.2.		Equipo secundario.....	76
	3.3.2.1.	Mini cargadores frontales.....	77
	3.3.2.2.	Vibrador manual de concreto.....	78
	3.3.2.3.	Cortadora de concreto.....	80
	3.3.2.4.	Hidrolavadora de alta presión.....	83
3.3.3.		Otros equipos.....	86
3.3.4.		Reemplazo de dispositivos o partes.....	88
3.3.5.		Justificación de un mantenimiento preventivo <i>in situ</i>	88
4.		PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	91
4.1.		Generalidades.....	91
4.2.		Fallas comunes en equipos de pavimentación.....	91
	4.2.1.	Equipo primario.....	92
	4.2.1.1.	Calibración de sensores.....	93
	4.2.1.2.	Vibración en tornamesa de alisado.....	93
	4.2.1.3.	Arranque o funcionalidad de motor diesel.....	93
	4.2.1.4.	Peineta de texturizado.....	94

4.2.2.	Equipo Secundario.....	94
4.2.2.1.	Hidrolavadora.....	94
4.2.2.2.	Cortadora de concreto.....	95
4.2.3.	Resumen de componentes críticos.....	95
4.3.	Tipo de mantenimiento para los principales equipos empleados en el proceso de pavimentación.....	96
4.4.	Modelo de programación y su periodicidad para la realización del mantenimiento <i>in situ</i> para los equipos de pavimentación.....	97
4.5.	Políticas de decisión respecto al mantenimiento a realizar.....	99
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	101
5.1.	Plan de mantenimiento preventivo de los equipos.....	101
5.2.	Componentes críticos de los equipos.....	103
	CONCLUSIONES.....	105
	RECOMENDACIONES.....	107
	BIBLIOGRAFÍA.....	109
	APÉNDICE.....	115

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Comparación entre distintos tipos de mantenimiento.....	12
2.	Fallas en equipos de pavimentación.....	36
3.	Causas de falla de equipo (tipo motores).....	37
4.	Análisis de causa raíz en embrague centrífugo.....	38
5.	Pavimentadora TEREX SF3502B.....	45
6.	Texturizadora de concreto.....	46
7.	Maniobras para traslado de equipo primario.....	53
8.	Traslado de equipo primario hacia planta de distribución para mantenimiento mayor.....	53
9.	Sensores de nivelación.....	54
10.	Máquina pavimentadora o esparcidora de concreto TEREX SF3502B.....	55
11.	Tubería y acoples de sistema hidráulico.....	57
12.	Tubería de sistema de presión y sistema eléctrico.....	57
13.	Filtros de combustible.....	60
14.	Filtro para retención de sólidos en combustible.....	60
15.	Filtro de sistema hidráulico.....	60
16.	Filtro de sólidos en sistema hidráulico.....	61
17.	Carenaje principal de eje o caracol de esparcido.....	62
18.	Carenaje principal del eje o caracol.....	62
19.	Carenaje del eje.....	63
20.	Engranajes de rotación de eje o caracol de esparcido.....	63

21.	Pernos del engrane del eje de rotación.....	64
22.	Remoción de residuos en tornamesa de alisado.....	65
23.	Remoción de residuos de concreto en caracol.....	65
24.	Limpieza superficial profunda del caracol de esparcido.....	66
25.	Limpieza superficial del caracol con equipo de protección.....	66
26.	Revisión de mangueras de presión.....	67
27.	Revisión nocturna como parte del mantenimiento <i>in situ</i>	68
28.	Revisión nocturna <i>in situ</i> con equipo de protección.....	68
29.	Tornamesa de desplazamiento y dirección.....	69
30.	Tornamesa de desplazamiento y dirección.....	70
31.	Máquina de texturizado Terex Bio-Well TC-360.....	71
32.	Revisión <i>in situ</i> de tuberías de aspersion de fluidos.....	72
33.	Filtro de texturizadora al momento de ser revisado <i>in situ</i>	73
34.	Filtros de sistemas de aire y transmisión.....	73
35.	Filtros de sistema de combustible y enfriamiento.....	73
36.	Principales sectores evaluados para garantizar el flujo de materiales complementarios a la superficie del concreto.....	74
37.	Detalle de la peineta o dentada utilizada en la realización de textura superficial del pavimento.....	75
38.	Detalle del ducto de aspersion que debe ser revisado como parte del mantenimiento preventivo <i>in situ</i>	75
39.	Aspersion de materiales para la textura superficial del concreto.....	76
40.	Mini cargador frontal empleado para distribución frontal del concreto	77
41.	Utilización del vibrador manual de concreto sin accesorio de traslado.....	78
42.	Vibrador manual de concreto sin accesorio de traslado.....	79
43.	Vibrador manual de concreto con accesorio de traslado.....	79

44.	Manguera principal de vibrador de concreto.....	80
45.	Filtros de aire y combustible para motores de dos tiempos.....	80
46.	Cortadora de concreto.....	81
47.	Utilización de cortadora de concreto en pavimentos.....	81
48.	Utilización de cortadora de concreto.....	82
49.	Discos de diamante empleados en las cortadoras de concreto.....	83
50.	Hidrolavadora de alta presión, ubicada de forma permanente como equipo secundario en pavimentadora.....	84
51.	Motor principal de hidrolavadora de alta presión.....	84
52.	Modelos de hidrolavadoras de alta presión utilizadas en un mantenimiento preventivo <i>in situ</i>	85
53.	Tubería principal de conducción de agua de alta presión.....	85
54.	Actividades realizadas utilizando vibro compactador manual.....	86
55.	Actividad de demolición y limpieza realizada por retroexcavadora.....	87
56.	Nivelación de superficie o rasante en carretera realizada por moto niveladora.....	87
57.	Compactación de superficie nivelada realizada por vibro compactador neumático con control de operador.....	87

TABLAS

I.	Requerimientos para concreto de cemento hidráulico.....	6
II.	Plan de mantenimiento de una moto niveladora.....	16
III.	Programación de mantenimiento de retroexcavadora.....	20
IV.	Mantenimiento controlado por lecturas de una cargadora BobCat.....	24
V.	Paros programados de equipos de pavimentación.....	26
VI.	Catálogo de mano de obra.....	27
VII.	Información de un proveedor de llantas.....	28

VIII.	Catálogo de control de herramientas.....	29
IX.	Inventario de repuestos y consumibles.....	30
X.	Número de fallas por equipo de pavimentación.....	35
XI.	Ejemplo de soluciones de un análisis causa raíz.....	39
XII.	Horas de cambio de filtros de equipos TEREX.....	58
XIII.	Características de filtros.....	59
XIV.	Clasificación de los componentes críticos de los equipos de pavimentación.....	95
XV.	Modelo de programación de actividades de mantenimiento <i>in situ</i> para equipos utilizados en procesos de pavimentación.....	98

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
ACR	Análisis de causa raíz
CFA	Análisis de falla de componentes
GPM	Galones por minuto
Gral.	General
°C	Grados centígrados
ICR	Investigación de causa raíz
jgo	Juego
Psi	Libras por pulgada cuadrada
Lts	Litros
Mtto	Mantenimiento
MPa	Mega pascales
mm	Milímetros
Ots	Órdenes de trabajo
Pza	Pieza
VOSO	Ver, oír, sentir, oler

GLOSARIO

AASHTO	Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes.
Análisis VOSO	Ensayo no destructivo. Como actividad de mantenimiento consiste en ver, oír, sentir y oler, cualquier comportamiento anormal en el estado de un equipo.
Aserrado de juntas	Cortes lineales sobre la carpeta de concreto y a profundidades según norma y que tienen como fin brindar mayor resistencia a la carpeta de concreto.
ASTM	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.
Balanceo dinámico	Corrige vibraciones verticales y laterales en la rueda, rodamiento o cojinete, producto, que el centro de rotación no coincide con el centro de gravedad o de masa, por ello se deben compensar o redistribuir masas a fin de corregir el desbalance.

Consolidar concreto	Compactación del concreto fresco para moldearlo dentro de los encofrados, usando varillas para eliminar burbujas de aire, y si es una carpeta de concreto, usando vibradores.
Consumibles	Materiales de bajo costo y que ocupan poco espacio físico, pero que son útiles en una emergencia <i>in situ</i> .
Enrasar	Acto de moldear la superficie de concreto hasta un nivel determinado a través de reglas simples o vibratorias.
<i>In situ</i>	Actividad en el lugar, en el sitio o en campo.
Mudas	Tiempos muertos o de vacío, velocidad reducida de procesos, lo cual genera pérdidas de productos o productos defectuosos.
Pétreos	Proviene de la roca o piedra que se utiliza como material de construcción. Por ejemplo mármol, vidrio, granito, etc.
Ranurado	Son cortes en la superficie de la carpeta de concreto.

Rasante

Corresponde a la línea de contacto del elemento incorporado al terreno.

Texturizado

Son cortes superficiales de la carpeta de concreto, como textura, que brindan una mejor adherencia con las ruedas de los vehículos.

RESUMEN

El proceso de pavimentación de carreteras principales, interamericanas y nacionales o de primer orden en Guatemala, utilizando concreto hidráulico, implica el uso de equipos que, normalmente trabajan durante largos períodos de uso continuo bajo condiciones climáticas y de trabajo que no son favorables, y a distancias considerables de poblados, siendo condiciones recurrentes hasta en un 80 por ciento de los casos.

Mantener las condiciones óptimas y la disponibilidad de los equipos en trabajos *in situ* (en campo, o en el lugar) es importante para evitar interrupciones durante los trabajos, siendo necesario considerar el monitoreo constante de los equipos para asegurar que trabajen bajo las condiciones normales de operación.

El trabajo de graduación, con base en la experiencia *in situ* del personal de operación que utiliza los equipos e ingenieros supervisores de las obras, así como en los catálogos de fabricante y manuales de usuario de los equipos, identifica y describe, con base a entrevistas, los equipos y sus componentes críticos para generar un plan de mantenimiento preventivo a realizarse *in situ*.

Se realiza la identificación de los equipos con base a su importancia en la aplicación y si las fallas recurrentes implican su traslado para mantenimiento mayor que, por su complejidad no pueda resolverse *in situ*.

El trabajo de graduación concluye que, los equipos críticos son los de tipo primario, sin embargo, otro equipo crítico de tipo secundario es la hidrolavadora, considerando que una de las principales actividades de mantenimiento propuestas es la limpieza de las partes que tienen contacto directo con los químicos abrasivos que contiene el concreto hidráulico y otros que se aplican en su acabado final.

Finalmente, se establece que la programación y ejecución de actividades de mantenimiento preventivo *in situ*, depende de la disponibilidad de un paquete de consumibles (filtros, mangueras, conectores, acoples, lubricantes) y las políticas de mantenimiento establecidas entre proveedores de equipos y personal operativo; teniendo como fin asegurar la disponibilidad de los equipos, reducir costos y los paros durante los trabajos de pavimentación.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ausencia de mantenimiento en cualquier equipo representa a corto o mediano plazo la presencia de algún tipo de deterioro, destrucción o deficiencia en su operación. En ocasiones, la falla en equipos obedece a causas humanas relacionadas con el mal uso por parte de los operadores, sea por falta de capacitación o por algún descuido. En otras ocasiones, las causas de falla son físicas, derivadas del envejecimiento normal de las piezas por el uso, sin embargo, pueden presentarse fallas en los equipos de forma prematura antes que estos cubran su vida útil debido a la falta de mantenimiento.

El mantenimiento de un equipo puede ser sencillo o complejo, pero ambos tienen en común buscar mejorar la disponibilidad de los equipos y aumentar su vida útil.

En Guatemala, a septiembre de 2014, se ha venido adoptando en obras de infraestructura vial el método de pavimentación de carreteras de primer orden con superficies o carpetas de concreto hidráulico. Los equipos son empleados en lugares distantes de poblados en donde se encuentran, normalmente los talleres de mantenimiento. Las condiciones de clima y tránsito en donde se utilizan no siempre son las mejores, lo cual implica que el personal de campo aproveche las condiciones favorables para realizar las tareas de pavimentación.

Realizar un mantenimiento *in situ* a los equipos busca mejorar la disponibilidad y su vida útil. Sin embargo, se tiene el inconveniente de que al trabajar en lugares distantes de poblados no se disponga de herramienta y recursos necesarios.

En obras de construcción, con equipos de pavimentación, se presentan contratiempos de forma continua por desperfectos en los componentes de los equipos, lo cual ocasiona que la ejecución de los trabajos se vea interrumpida, y en algunas ocasiones, por largos períodos de tiempo.

La distancia del taller, respecto al lugar donde se utilizan los equipos y las dimensiones para su transporte hacia los talleres, dificulta la realización de reparaciones de fallas en corto tiempo, razón por la cual se retrasa el cumplimiento del tiempo de ejecución y entrega de las obras terminadas.

En el presente trabajo de graduación se plantean las siguientes interrogantes con la finalidad de determinar las causas de falla en los equipos de pavimentación: ¿Cómo generar una guía de soporte para establecer un mantenimiento preventivo *in situ* para equipos de pavimentación?, ¿es posible reducir los paros durante los trabajos de pavimentación mediante un plan de mantenimiento *in situ*?, ¿cuáles serían las principales actividades a realizar en el plan si se tiene el inconveniente de no contar con suficientes herramientas en el lugar?, ¿cuál sería la programación de las actividades de mantenimiento *in situ*?, ¿cuáles son los equipos y componentes críticos dentro del plan de mantenimiento *in situ*?

JUSTIFICACIÓN

En Guatemala, la construcción y rehabilitación de carreteras definidas como de primer orden, utilizando pavimentos hidráulicos va en aumento, pavimentos que según los expertos en carreteras generan diversas opiniones, opiniones y análisis que, generalmente concluyen con la necesidad inminente de evaluar la calidad de los mismos.

Los comentarios de los expertos en el área respecto al método de pavimentación, usando concreto hidráulico, resultan ser consecuencia de diversas inconsistencias detectadas en la calidad de los pavimentos y, que en determinado momento involucran también, la evaluación de los equipos empleados en el proceso de pavimentación.

Según expertos en pavimentos de concreto hidráulico y su construcción, los equipos empleados para la pavimentación resultan ser determinantes para la calidad final de los trabajos, considerando que se tienen experiencias anteriores de problemas que se generan cuando algún equipo debe detenerse por causa de algún desperfecto, el cual pudiera haberse detectado si existieran los adecuados controles de mantenimiento.

La propuesta de realizar el trabajo de graduación obedece a la complejidad que representa mover algunos equipos de pavimentación por sus dimensiones o tamaño físico, debido a que, generalmente los talleres de reparación se localizan a distancias considerables respecto del lugar de trabajo; lo anterior establece la necesidad de tener programas de mantenimiento

preventivo que impliquen optimizar los procedimientos en la ejecución de las obras.

Entonces, con base en el conocimiento teórico y los antecedentes de experiencias previas de los problemas presentados por los equipos y maquinaria empleada, para la pavimentación de carreteras de primer orden en Guatemala, se realiza un estudio de carácter cualitativo, registrando la problemática recurrente y los componentes de los equipos que pudieran estar comprometidos en el desempeño y funcionalidad de los mismos.

Con la información del estudio cualitativo se proponen entonces, las actividades de un mantenimiento preventivo *in situ* y su programación, con la que se espera reducir la problemática generada por el paro de obras al realizar mantenimientos correctivos o no programados a los equipos.

OBJETIVOS

General

Generar, para las instituciones públicas y privadas que se dedican a la construcción y rehabilitación de carreteras, una guía de soporte para el establecimiento de un mantenimiento preventivo *in situ* de equipos empleados durante el proceso de pavimentación con concreto hidráulico en carreteras de primer orden, con base en la identificación de las fallas comunes en los equipos.

Específicos

1. Describir las posibles Mudas que son generadas por las fallas de los equipos en la ejecución de las obras de pavimentación.
2. Establecer los procedimientos requeridos para la realización de un plan de mantenimiento de equipos, y cuáles se pueden realizar *in situ*.
3. Determinar las causas de falla de los equipos que ayuden a generar el plan de mantenimiento.
4. Establecer los equipos críticos, los cuales son empleados en el proceso de pavimentación con concreto hidráulico.

ALCANCES

El trabajo de graduación realiza la clasificación de los componentes críticos de los equipos empleados para la pavimentación con concreto hidráulico, creando un plan de mantenimiento preventivo y la programación de las actividades de mantenimiento a los equipos de pavimentación en carreteras de primer orden en Guatemala.

La clasificación de componentes críticos de los equipos se realiza por medio de la evaluación en campo de los utilizados, definiendo los componentes principales, aplicación, clasificación según sus características, y aquellos que puedan estar sometidos a deterioro de forma temprana por causas de desgaste, lubricación, limpieza u otro inconveniente en condiciones normales de operación.

Definidas las condiciones de operación, en las cuales están trabajando los equipos, se establecen las condiciones que regirán el mantenimiento preventivo, tomando como referencia las condiciones reales en tiempo continuo de operación en las cuales trabajan.

El trabajo de graduación realiza una investigación de carácter descriptivo que genera una guía para el plan de mantenimiento preventivo *in situ* de equipos de pavimentación que será de beneficio para instituciones públicas o privadas en Guatemala dedicadas a la construcción de carreteras utilizando concreto hidráulico.

Finalmente, se deja abierta la línea de investigación para la posterior implementación de los datos y conclusiones obtenidas en el presente documento.

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

El trabajo de graduación busca determinar *in situ* los componentes críticos, para el mantenimiento preventivo de equipos de pavimentación con concreto hidráulico.

Las técnicas de investigación que se utilizan en el estudio se refieren a la observación indirecta, la cual consiste en que el investigador entra en conocimiento del hecho o fenómeno observado por otra persona anteriormente; en el estudio la técnica se aplica tomando las observaciones de operadores e ingenieros supervisores de obra, respecto de los equipos y partes que han fallado durante trabajos de pavimentación *in situ*.

Otra de las observaciones indirectas a considerar son las actividades de mantenimiento *in situ* que se realizan a los equipos por parte de los distintos grupos de trabajo en cada obra, con el fin de establecer las actividades comunes que se realizan y que mejor se adapten al mantenimiento *in situ* propuesto.

La técnica de investigación de observación, a la vez, es participante y estructurada, puesto que se realizan entrevistas a operadores en el lugar en donde se utilizan los equipos, comparando sus observaciones con especificaciones y mantenimiento de los equipos registrados en catálogos y tablas.

Por último, la técnica de investigación es de observación de campo y en equipo, considerando las opiniones sobre los temas bajo estudio directamente en campo y por parte de ingenieros supervisores de obra y operadores de equipos.

Otra técnica de investigación utilizada es la entrevista, la cual permite utilizar información de una población o universo pequeño y manejable.

El estudio es de carácter descriptivo, basándose en el uso de técnicas de observación y entrevista descritas, sin embargo, también considera información disponible en catálogos y manuales de usuario de equipos, respecto de las actividades y programación de actividades de mantenimiento que recomiendan fabricantes de equipos.

TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

El presente trabajo de graduación realiza un estudio de carácter descriptivo, creando registros de los componentes críticos para el mantenimiento *in situ* de equipos, registros generados durante la ejecución de obras y experiencias anteriores, siendo fundamental el aporte de la experiencia de operadores e ingenieros supervisores de construcción de carreteras en el uso de los equipos que son objeto de análisis y que son actualizados y renovados de forma constante.

Considerando la limitante de experiencias en el uso de equipos primarios de uso reciente en pavimentación con concreto hidráulico, el universo de datos resulta ser pequeño como para realizar un análisis estadístico que exprese su comportamiento en condiciones reales de trabajo, por lo que solamente se expresan los resultados sin realizar cálculo estadístico alguno.

Es importante establecer que los equipos primarios empleados en el proceso de pavimentación en Guatemala, son equipos modernos y de uso reciente, de los cuales no se tienen registros suficientes de experiencias en el uso que permita realizar un cálculo de estadística descriptiva o inferencial.

El estudio considera los datos disponibles para los equipos primarios, desde el inicio del uso de los equipos en el país, a marzo de 2014, generando resultados y conclusiones para el trabajo de graduación, considerando los registros sobre problemas que se han tenido en los equipos, y evaluando las coincidencias entre las distintas observaciones de los entrevistados, con la

finalidad de establecer criterios para clasificar los equipos que presenten mayores problemas.

Se deja abierta la línea de investigación para una posterior revisión y análisis de resultados que se obtienen en el estudio cuando se disponga de una cantidad de datos significativos para el seguimiento del comportamiento de los equipos, y pueda realizarse la comparación de resultados respecto a los obtenidos en el presente trabajo de graduación.

INTRODUCCIÓN

Es de conocimiento general, que los paros en procesos de producción, pavimentación, u otros procesos por fallas en equipos en cualquier parte del mundo, causa pérdidas económicas, como también, retrasos en la ejecución y entrega de productos u obras terminadas.

El presente trabajo de graduación determina *in situ* los componentes críticos en el mantenimiento preventivo de equipos de pavimentación con concreto hidráulico, clasifica los equipos, define actividades a realizar como un mantenimiento preventivo *in situ*, y crea una propuesta descriptiva de la programación de las actividades a realizar en el plan de mantenimiento de los principales equipos de pavimentación de concreto hidráulico, para carreteras de primer orden en Guatemala.

Inicialmente se presenta el marco teórico asociado a los temas afines como: pavimentos, clasificación de carreteras en Guatemala, y mantenimiento preventivo de equipos, con la finalidad de tener una base teórica que proporcione el soporte durante el desarrollo del trabajo de graduación.

Para la identificación adecuada de los equipos bajo estudio, se realiza una clasificación de los primarios, secundarios, y otros. La clasificación se realiza según su importancia en la aplicación y si presenta una falla en sus partes que requiriera traslado al taller para un mantenimiento mayor, que por sus características no pueda ser realizado *in situ*.

Se realizan entrevistas directas con operadores y supervisores en obras en ejecución, con la finalidad de determinar con base a sus experiencias en el uso y desempeño de los equipos, ¿en qué situaciones se han tenido fallas y en cuál equipo?, definiendo entonces, las posibles actividades del mantenimiento preventivo *in situ* que se sugieren en el presente trabajo de graduación e identificando a su vez, partes y equipos críticos en procesos de pavimentación, generando material de apoyo que contribuya a evitar los paros en la ejecución de trabajos de pavimentación.

El trabajo de graduación busca crear una guía para reducir el traslado de equipos por actividades de mantenimiento mayor, generando una propuesta descriptiva de la programación de actividades de mantenimiento *in situ* que priorice el mantenimiento preventivo a equipos críticos.

1. ANTECEDENTES

El presente trabajo de graduación hace énfasis en la determinación *in situ* de los componentes críticos para el mantenimiento preventivo de los principales equipos de pavimentación de concreto hidráulico, para carreteras de primer orden en Guatemala.

Estas son las rutas pavimentadas de primer orden de uso internacional y de alta convergencia vial¹.

Es importante hacer referencia al tema de pavimentos, los tipos y la clasificación de las carreteras en el país, como parte de las aplicaciones de los equipos bajo estudio, con la finalidad de establecer la importancia de un plan de mantenimiento preventivo en equipos.

Se hace una descripción general sobre tipos de mantenimiento de equipos, así como las partes principales de un plan de mantenimiento preventivo en equipos de pavimentación.

En el caso de fallas en los equipos o partes, se analizan utilizando distintos métodos que serán descritos de forma general, a fin de conocerlos para una futura aplicación en el análisis puntual de alguna falla.

¹ Dirección General de Caminos, 1992. p.4.

1.1. Pavimentos

Coronado (2002) afirmó lo siguiente: “Los pavimentos son estructuras integrales de capas de subrasante, subbase, base y carpeta, colocado encima de la rasante y destinada a sostener las cargas vehiculares”.

“El pavimento es una estructura que combina capas de agregados con diferentes granulometrías y resistencia creciente hacia la superficie de rodadura colocada sobre un terreno de fundación resistente a la aplicación de cargas, cambios de clima y resistencia a efectos de abrasión inducidos por el tránsito”².

1.1.1 Elementos que integran la estructura de un pavimento

“Generalmente los pavimentos están compuestos por distintas capas de agregados con granulometrías específicas, de acuerdo a su función estructural, con materiales resistentes según su función y dependiendo del tipo de pavimento la posible utilización de materiales bituminosos o de liga”³.

“Adicionalmente, deben considerarse los siguientes componentes en la estructura general de un pavimento: terreno de fundación, material resistente, (base y subbase), material ligante y superficie de rodadura”⁴.

² ROMÁN, Rolando. *Método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico*. p.1.

³ QUIJADA, Luis. *Seguimiento del comportamiento de los principales pavimentos construidos con el método constructivo de losas cortas*. p. 1-2.

⁴ *Ibíd.*

1.1.2 Tipos de pavimentos

“Los pavimentos se dividen en flexibles y rígidos. El comportamiento de los mismos al aplicarles carga es muy diferente”⁵.

Los pavimentos construidos con mayor frecuencia se describen a continuación:

- Pavimentos asfálticos (PA).
- Pavimentos de concreto hidráulico (PCH).
- Pavimentos compuestos (mixtos).
- Pavimentos de avanzada tecnológica: a carga plena (base emulsionada total); a resistencia profunda (base + base emulsionada).
- Pavimentos adoquinados.
- Otros que dependen del material, características estructurales y proceso constructivo.

“En Guatemala de forma común se emplea la construcción de estructuras de pavimentos asfálticos e hidráulicos”⁶.

1.1.2.1 Pavimento flexible

Pavimentos que se caracterizan por tener un mayor grado de elasticidad al ser sometidos a cargas dinámicas de trabajo, donde es usual la utilización de mezclas asfálticas, ya sea en frío o en caliente.

⁵ CORONADO, Jorge. *Manual centroamericano para el diseño de pavimentos*. p.1

⁶ ROMÁN, Rolando. *Método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico*. p.2

1.1.2.1.1 Mezcla asfáltica

Es el resultado de la unión de materiales como agregados de diferentes granulometrías (grava, roca natural o de cantera), polvo mineral, cemento asfáltico y aditivos.

Mezcla de alta resistencia y duración, con características de elasticidad, resistente a la abrasión y calidad uniforme.

El producto en mención se puede tender y compactar de inmediato en la carretera, en una o en varias capas, de ser requerido, para proporcionar las características de resistencia y textura a las capas de soporte, o de superficie, según se establezca en planos y en las Disposiciones Especiales de la Dirección General de Caminos

1.1.2.2 Pavimento rígido

Poseen bajo grado de deformación, pero brindan características de transmisión de cargas similares a los flexibles, con algunas mejoras respecto a su periodo de mantenimiento, generalmente estos pavimentos se asocian a los que emplean una superficie de rodada de concreto de cemento hidráulico, y otros pavimentos con compuestos para uso industrial.

Existen varios tipos de pavimentos rígidos que pueden dividirse en:

- Concreto simple
- Concreto continuamente reforzados con barras de acero

1.1.2.2.1 Concreto hidráulico

En un pavimento rígido, el concreto hidráulico, generalmente forma la capa de rodada, la cual es denominada también, como losa, pudiendo estar compuesta por cemento hidráulico, con o sin esfuerzo que se diseña y construye para resistir las cargas e intensidad del tránsito.

1.1.2.2.1.1 Materiales

Dentro de los materiales utilizados en la construcción de pavimentos de concreto hidráulico, pueden mencionarse:

- Cementos hidráulicos
- Agregado fino
- Agregado grueso
- Agua
- Aditivos

1.1.2.2.2 Requisitos para la clase y resistencia del concreto

Es necesario citar algunas características de la clase y la resistencia del concreto que usualmente se emplea para la pavimentación de las carreteras de primer orden para tener la referencia de las características de esfuerzo, contaminantes y demás elementos a los que están sometidos los equipos empleados.

Para pavimentos de carreteras principales y vías urbanas importantes con un tránsito promedio diario anual mayor de 5 000 y con un tránsito pesado promedio diario arriba del 20 por ciento, debe usarse un concreto de clase 28 MPa (4 000 psi) o mayor, con una resistencia a la flexión AASHTO T97 (ASTM C78), promedio mínima de 4,5 MPa (650 psi) que llene todos los requisitos de la tabla I.

Tabla I. **Requerimientos para concreto de cemento hidráulico**

DESCRIPCIÓN	VALORES
Relación agua cemento máxima	0,49
Temperatura del concreto	20 ± 10 °C
Asentamiento AASHTO T119	40 ± 20 mm
Contenido de aire mínimo	4,5 %
Tamaños agregados AASHTO M43	551,04 b) y c)
Resistencia a la compresión AASHTO T-22	28 MPa (4 000 psi)
Resistencia a la flexión AASHTO T 97	4,5 MPa (650 psi)

Fuente: Dirección General de Caminos. 2001. p.501-2.

En la tabla I se mostraron algunas relaciones y requerimientos para los compuestos del concreto hidráulico para carreteras principales.

1.1.2.2.3 Equipo de pavimentación

El equipo y maquinaria a emplear durante la actividad de pavimentación dependerá del tipo de carretera (de primer orden, principal, o secundaria), del procedimiento de construcción previsto, la longitud y ancho de la sección de carretera, empleándose dos máquinas principales como se describe a continuación:

1.1.2.2.3.1 Pavimentadora con formaleta deslizante

Pavimentadoras o terminadoras autopropulsadas, capaces de extender, consolidar, enrasar y acabar el concreto fresco colocado frente a ellas, en una sola pasada completa de la máquina, de modo que se requiera un mínimo de acabado manual, para proporcionar un pavimento denso y homogéneo.

Las pavimentadoras deben estar equipadas con los componentes siguientes:

- Controles electrónicos para la dirección y la rasante, preferiblemente a ambos lados de la máquina.
- Un tornillo sinfín en la parte inferior frontal, para distribuir el concreto a todo lo ancho de la franja a fundir o colar.
- Vibradores y/o apisonadores internos de alta frecuencia de tipo cabeza vibratoria, para consolidar o compactar el concreto en todo lo ancho y espesor de la losa que se está colocando con controles adecuados, para parar la vibración o apisonado al interrumpirse el movimiento de avance de la máquina.

- Barra o rodillo enrasador para controlar el espesor de la losa.
- Placa niveladora y formaletas deslizantes a ambos lados para dar la sección final casi terminada.
- Alisadora o allanadora mecánica de movimiento oscilatorio en dirección longitudinal y desplazamiento en sentido transversal para dar el acabado final.
- Dispositivo para colocar mecánicamente las barras de sujeción y los pasadores de las juntas longitudinales y transversales.

1.1.2.2.3.2 Pavimentadora con formaleta fija

Maquinaria con formaletas de un material resistente, de preferencia metálicas rectas y de diseño aprobado por un ingeniero. El equipo a utilizar consta de:

- Formaletas fijas
- Equipo para esparcir, compactar y dar el acabado final del concreto
- Equipos de producción y suministro de concreto
- Vibradores
- Equipo para texturizado y ranurado
- Aserrado de juntas

1.2 Clasificación regional de carreteras

Según sus características de interconexión, volumen de tránsito y características geométricas de construcción, las carreteras en Guatemala se clasifican como:

- Carreteras de primer orden: centroamericanas, interamericanas y nacionales.
“Son las rutas pavimentadas de primer orden de uso internacional y de alta convergencia vial”⁷.

El estudio se realizó con los equipos de pavimentación utilizados en los tramos carreteros correspondientes a una carretera de primer orden:

- CA-1 occidente de San Lucas a Tecpán Chimaltenango
- CA-1 oriente km 41 Nuevo Viñas, Santa Rosa km 46
- CA-9 norte ruta al Atlántico de km18–km 55

Carreteras de segundo orden: departamentales o municipales

Carreteras de tercer orden: vías no pavimentadas

1.3. Mantenimiento

A septiembre de 2014, el mantenimiento es considerado un factor estratégico cuando se busca incrementar los niveles de productividad, calidad y seguridad en una empresa. Es por ello que cuando una empresa busca ser más competitiva y eficiente, debe utilizar técnicas y sistemas que le permitan garantizar la continuidad de sus procesos productivos y uniformidad en la calidad de sus productos y servicios.

⁷ DGC. p.4.

El trabajo de graduación contiene como soporte teórico general, la descripción del mantenimiento preventivo de equipos y su diferencia con otros tipos de mantenimiento.

1.3.1. Tipos de mantenimiento

El mantenimiento dentro de la industria ha sufrido una evolución importante impulsada, en gran parte, por el desarrollo tecnológico de los equipos de control y medida, destacando los siguientes tipos de mantenimiento:

1.3.1.1. Correctivo

Es el mantenimiento que está relegado a intervenciones como consecuencia de las averías y con los consiguientes costos de reparación (mano de obra, piezas de repuesto, etc.), así como los relativos a los costos por las paradas de producción.

1.3.1.2. Preventivo

La necesidad constante de reducir los costos derivados de la baja disponibilidad de la máquina y de las consiguientes paradas de producción, llevaron a los técnicos de mantenimiento a programar revisiones periódicas con el objetivo de mantener las máquinas en el mejor estado posible y reducir su probabilidad de fallo.

Es por lo anterior, que el mantenimiento preventivo presenta la incertidumbre del costo que genera el mismo; y además, ¿hasta qué punto los

periodos establecidos para las intervenciones de mantenimiento están sobredimensionados?

Otra de las interrogantes sería: ¿Se pueden reducir los periodos de intervención sin consecuencias nefastas para las máquinas, reduciendo de esta manera los costos? Todas las preguntas carecen de respuestas precisas y se convierten en limitantes para la eficacia del mantenimiento.

1.3.1.3. Predictivo

Como consecuencia de las incertidumbres que presenta el mantenimiento preventivo, y con el apoyo del desarrollo tecnológico, se desarrolló un nuevo concepto de mantenimiento basado en el monitoreo de condición o estado de la máquina.

El tipo de intervención de mantenimiento predictivo viene a suponer toda una revolución dada su filosofía de anticipación a la avería por medio del conocimiento del comportamiento de la máquina y de cómo debería comportarse, conociendo de este modo previamente, qué elemento puede fallar y cuándo.

Con el mantenimiento predictivo es posible programar una intervención sin afectar al proceso productivo, con las consiguientes optimizaciones en costos de producción, mano de obra y repuestos, evitando grandes y costosas averías agilizando las intervenciones.

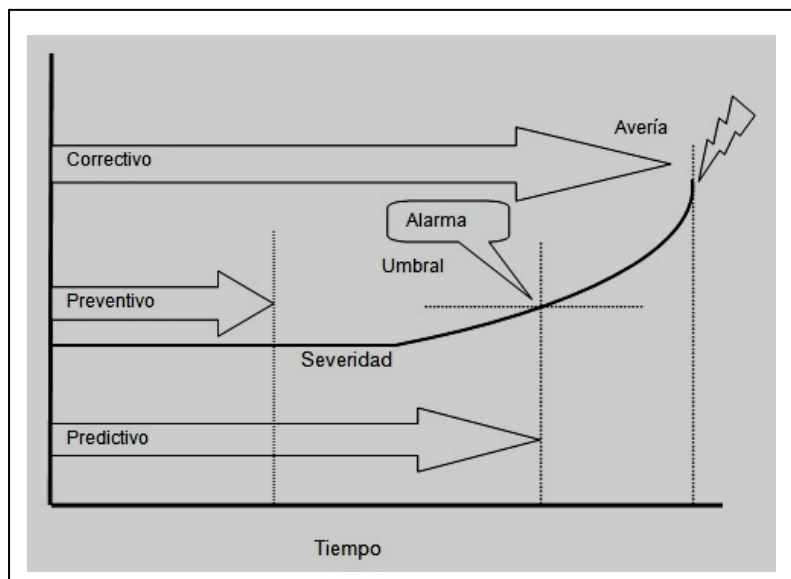
1.3.1.4. Proactivo

El mantenimiento proactivo se ha desarrollado como complemento a la evolución del mantenimiento predictivo; este reúne los tipos de mantenimiento detallados anteriormente, elevándolos a otra dimensión: el análisis de causas de falla.

El mantenimiento predictivo puede determinar si algún elemento de la máquina puede fallar, pero no estudia la causa raíz del fallo. No responde a la causa por la cual, por ejemplo, un rodamiento falla repetidamente, aunque sí indique cuándo puede fallar.

Para cubrir esta incertidumbre, el mantenimiento proactivo o también conocido como fiabilidad de máquina analiza la causa raíz de la repetitividad de la avería, resolviendo aspectos técnicos de las mismas.

Figura 1. **Comparación entre distintos tipos de mantenimiento**



Fuente: elaboración propia, adaptado de www.sinais.es, 2013.

1.4. Mantenimiento preventivo

Inicialmente debe considerarse que en un ambiente de trabajo, donde el mantenimiento se limita a reparar fallas, se promueve la ejecución de trabajos bajo presión, lo cual se refleja en la calidad final de una actividad como resultado del trabajo realizado y se traduce en mayores exposiciones al riesgo de daños en los equipos y personas.

Es de destacar que el cambio de mantenimiento de emergencia a mantenimiento preventivo organizado llega a representar ahorros muy importantes para una empresa. Mediante un mantenimiento preventivo es posible prever las fallas antes de que estas ocurran, realizando algunas veces simples rutinas de inspección, ajuste, lubricación o cambio de piezas menores.

Por lo general, la mayoría de problemas mayores inician con el desgaste de un componente menor que al fallar desencadena una complicación mucho mayor; estas fallas, por lo general son previsibles y pueden evitarse llevando a cabo rutinas de mantenimiento preventivo, representando la realización de esta actividad, una disminución significativa de los costos en el mantenimiento.

Debe considerarse por la Gerencia General de toda empresa que el desperfecto de una pieza, por falta de mantenimiento, puede ocasionar fallas que paralicen la producción por horas o incluso días, generando interrupciones y pérdidas considerables.

El plan de mantenimiento busca garantizar la continuidad en los procesos de producción y el cumplimiento de los periodos de la vida útil de los equipos.

“Para garantizar un correcto plan de mantenimiento debe priorizarse la continuidad y seguimiento de la programación de las diferentes actividades de mantenimiento a los equipos”⁸.

1.4.1. Ventajas

Dentro de las ventajas que tiene la realización de actividades de mantenimiento programado están:

- Reducción de paros imprevistos
- Incremento de la vida útil de los equipos
- Reducción de los niveles de inventario
- Prevención de accidentes
- Confiabilidad y uniformidad de la calidad
- Prevención de reparaciones costosas
- Mejorar organización de la mano de obra
- Documentación de la información

1.4.2. Software de mantenimiento

Existen diversos software de computadora cuyo objetivo es la administración o gestión de actividades de mantenimiento, por ejemplo:

- MP Software
- SAP
- Máximo

⁸ *Técnica aplicada internacional*, TAI. 2012. *Mpssoftware*. Recuperado de http://www.mpssoftware.com.mx/software_mantenimiento/distribuidor_GT.html

- MP2
- GMAO PRISMA3
- PMX PRO (software gratuito)
- RENOVEFREE (software gratuito)

Los software descritos hacen referencia en algunas actividades como las siguientes:

- Programación de fechas de mantenimiento.
- Actualización de actividades de mantenimiento.
- Control de repuestos y consumibles (mano de obra, servicios externos y herramientas), requeridos en los trabajos de mantenimiento.
- Cálculo de flujo de recursos.
- Conexión directa con inventario de repuestos y control de herramientas.
- Generación de órdenes de trabajo.
- Bitácora o base de datos sobre trabajos realizados.
- Registro de equipos que más fallas presentan.
- Tipos de falla más frecuentes.
- Registro de paros.
- Duración de los paros por causa de falla.

Los programas Computerized Maintenance Management System (CMMS) Sistemas Computarizados de Gestión del Mantenimiento, y Gestores de Mantenimiento Asistido por Ordenador (GMAO), contienen actividades de gestión del mantenimiento como las descritas anteriormente.

1.4.3. Plan de mantenimiento

Uno de los componentes fundamentales para el control del mantenimiento preventivo es la formación de planes o rutinas de mantenimiento. Estos son modelos que contienen la información respecto a las actividades de mantenimiento que deben de realizarse a los equipos; a continuación se describen algunos componentes básicos en la realización de un plan de mantenimiento, tomando como ejemplo el de una moto niveladora de uso en pavimentación:

Tabla II. Plan de mantenimiento de una moto niveladora

CATALOGO - PLANES				
PLAN: Moto niveladora JOHN DEERE Modelo: 672B				
Parte	Actividad	Frecuencia	Duración	Prioridad
Transmisión	Revisión general	3 mes[es]	0 h 30 m	Alta
Sistemas Hidráulicos	Controlar nivel de aceite	1 mes[es]	2 h 30 m	Media
Freno de Pie	Revisar funcionamiento	1 mes[es]	0 h 30 m	Alta
Freno de Mano	Revisar funcionamiento	1 mes[es]	0 h 40 m	Alta
Filtros	Limpiar y cambiar si es necesario	3 mes[es]	2h 00 m	Media
Tren de rodaje	Revisar funcionamiento	1 mes[es]	0 h 25 m	Alta
Cilindros Cuchilla	Ajustar	3 mes[es]	1 h 30 m	Alta
	Limpiar	diario	0 h 20 m	Alta
Sistema de enfriamiento	Limpiar y evaluar funcionamiento	1 mes[es]	0 h 30 m	Alta
Sistema de combustible	Inspección interna y externa	1 mes[es]	0 h 40 m	Alta
	Limpieza interior	3 mes[es]	1 h 00 m	Baja
Motor Básico	Limpieza y evaluación general	3 mes[es]	0 h 30 m	Media
Llantas	Revisión general	1 mes[es]	0 h 15 m	Media

Fuente: elaboración propia.

El plan de mantenimiento se compone de tres elementos básicos

- Partes
- Actividades
- Frecuencia

Es importante señalar que el usuario es quien estructura los planes de mantenimiento de sus equipos, con base a su experiencia o bien, la recomendación del fabricante de los mismos.

Por esta razón, un mismo modelo de plan de mantenimiento puede ser de aplicación general, pudiéndose adaptar e implementar en cualquier empresa sin importar el tipo de equipos.

Existen planes de mantenimiento prefabricados para varios equipos típicos que normalmente se pueden encontrar en una empresa; utilizando modelos prefabricados, puede tenerse desde el principio, un avance importante en la implementación de un plan de mantenimiento.

Algunos modelos de plan de mantenimiento codifican las actividades, pero realmente queda a decisión del ingeniero de Mantenimiento el codificar o no las actividades según sean sus necesidades.

1.4.3.1. Partes

Un plan de mantenimiento debe considerar inicialmente el listado de equipos con los cuales cuenta la empresa; para cada equipo puede realizarse la derivación de partes como sigue:

- Parte
- Sub-parte
- Sub-sub-parte

Cada equipo constará de partes y sub-partes según sea necesario.

1.4.3.2. Actividades

Las actividades de un plan de mantenimiento pueden ser de aplicación general, si estas se implementan en equipos de características similares.

Dentro de las principales actividades que deben ser realizadas a los equipos están:

- Revisión y limpieza
- Cambio de aceite
- Revisar nivel de lubricante
- Lectura de temperatura
- Prueba de acidez de lubricante
- Revisar alineación
- Revisar balanceo
- Cambio de filtro
- Limpieza de filtro

Estas son algunas actividades que se realizan a diversos equipos, por tal razón, el mismo modelo de mantenimiento de una empresa puede utilizarse en otras, siempre que estas utilicen equipos similares.

1.4.3.3. Frecuencia

La frecuencia con la cual se realizarán las actividades de mantenimiento se determina:

- Según experiencias previas del usuario
- Según catálogos de fabricante

La asignación de los periodos dentro de los cuales se realizarán las actividades de mantenimiento se determinan según:

- Horas de uso del equipo
- Distancia recorrida (vehículos)
- Número de piezas fabricadas

1.4.4. Programación de actividades de mantenimiento

Para la realización de la programación de la actividad de mantenimiento de un equipo o pieza en particular, es necesario contar con el listado de partes del equipo, el detalle de actividades de mantenimiento a realizar en cada parte, y la frecuencia en tiempo para realizarse a cada parte o equipo.

En la tabla III se muestra el ejemplo de programación de mantenimiento para una retroexcavadora, describiendo la frecuencia y las actividades a realizar para el mantenimiento.

Tabla III. Programación de mantenimiento de retroexcavadora

CALENDARIO - Extendido Detallado (por equipo)											h : horas	a : años															
											d : días	t : tiempo															
Actividades rutinarias: RETRO EXCAVADORA Caterpillar 320D											s : semanas																
											JULIO 2014																
Parte	Actividad	Frecuencia	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
		t.serv./ t.trans.																									
Filtro (recirculación) Aire acondicionado-calentador de cabina	Inspeccionar/ Reemplazar	Cuando sea necesario																									
Ajuste de Cadena	Ajustar	Cuando sea necesario																									
Nivel de aceite de motor	Comprobar	10h/ 1d	■				■				■				■				■					■			
Indicadores y medidores	Probar	10h/ 1d		■									■									■					
Varillaje de cucharón	Lubricar	10h/ 1d							■																		
Varillaje de pluma y brazo	Lubricar	100h/ 2s	■																	■							
Juego de válvulas de motor	Comprobar	primeras 250h																									
Filtro primario de sistema de combustible	Reemplazar	250h																									
Tapa y colador de tanque de combustible	Limpiar	500h/ 3m										■															
Batería	Limpiar	1000h/ 6m										■															
Engrane de la rotación	Lubricar	2000h/ 1a																									■
Rejilla de tanque de hidráulico	Limpiar	2000h/ 1a																									■
Aceite de sistema hidráulico	Cambiar	4000h/ 2a					■																				
Refrigerante de sistema de enfriamiento	Cambiar	12000h/ 6a																									■

Fuente: elaboración propia.

Como puede verse en la tabla III, se define la programación de actividades de mantenimiento de las partes correspondientes a una retroexcavadora, estableciendo en el calendario las fechas programadas para realizar todas y cada una de las actividades rutinarias asociadas al equipo.

La tabla III muestra inicialmente, el nombre del equipo cuyo calendario de mantenimiento se está consultando, en este caso, el equipo es la retroexcavadora.

Posteriormente se listan las distintas partes en que consta ese equipo, describe las actividades de mantenimiento a realizar a cada parte del equipo, la frecuencia (t.serv. = tiempo de servicio, t.trans.= tiempo transcurrido, lo que pase primero) según indica el fabricante para la realización del mantenimiento a cada parte, así como el calendario de actividades de mantenimiento ordenadas por día, mes y año.

Las marcas en la tabla III corresponden a las fechas programadas para la realización de cada actividad según el tipo de parte del equipo. Nótese que la actividad queda programada en calendario a intervalos de tiempo según la frecuencia.

El primer mantenimiento que aparece en el calendario se calcula con base en la fecha del último mantenimiento de la pieza, parte o equipo que se tenga registrado.

La tabla III, únicamente muestra la calendarización del mes de julio para actividades de mantenimiento de la retroexcavadora en mención, pero esta debe realizarse para los doce meses del año.

La calendarización debe realizarse hasta cubrir un 80 por ciento de la vida útil de la parte o equipo (recomendado), a partir de ahí deberá monitorearse constantemente y evaluar la posibilidad de un cambio antes que esta falle.

En el calendario se marcan en rojo los días no laborables, estos quedan a discreción de las políticas laborales de la empresa o según sus necesidades.

Este es un modelo de programación de mantenimiento para una retroexcavadora, el cual se toma como base en la programación de mantenimiento preventivo *in situ* de los equipos de pavimentación bajo estudio en el presente trabajo de graduación.

Dentro de los tipos de programación de actividades están:

- Por fecha
- Por especialidad
- Por medición
- Por lecturas
- Por prioridad

1.4.4.1. Actividad programada por fechas

Es el plan de mantenimiento cuyas actividades se programan en períodos de tiempo dados en días, meses o años, a partir de la fecha de la última actividad de mantenimiento.

1.4.4.2. Actividad programada por especialidad

Una actividad de mantenimiento, también se puede clasificar según la especialidad en la actividad, pudiendo ser:

- Mecánica
- Eléctrica
- Lubricación

Esta clasificación de actividades permite, al generar las órdenes de trabajo, agrupar las mismas por especialidad y emitir con esto las disposiciones de trabajo en forma separada por especialidad.

1.4.4.3. Actividad programada por medición

Existen actividades que implican la toma de una medición, por ejemplo:

- Medir temperatura
- Medir espesores
- Resistencia de aislamiento
- Medición eléctrica

Estos tipos de mediciones entre otros, se realizan muchas veces como parte de los registros para la realización de un mantenimiento predictivo.

1.4.4.4. Actividad programada por lecturas

En un plan de mantenimiento controlado por el régimen de lecturas, la frecuencia de las actividades de mantenimiento se programa en función del uso que tenga el equipo, por ejemplo:

- Cada 15 000 kilómetros
- 5 000 horas

- Cada 10 000 piezas fabricadas

En catálogos, el fabricante no expresa normalmente la programación de mantenimientos por uso continuo (Caterpillar, 2008), lo cual es un dato importante a considerar, esta es una razón que se considera como parte del presente trabajo de graduación.

En la tabla IV se muestra un ejemplo sobre el mantenimiento controlado por lecturas en el caso de una cargadora Bobcat S130.

Tabla IV. **Mantenimiento controlado por lecturas de una cargadora**

CATALOGO : PLANES		h : horas		
		M : meses		
	PLAN: CARGADORA Bobcat S130	m : minutos		
Parte	Actividad	Frecuencia	Duración	Prioridad
Aceite de motor	Revisar nivel	8-10h	0 h 30 m	Alta
Filtro de aire de motor	Revisar/ limpiar/ cambiar	8-10h	1 h 00 m	Media
Neumáticos	Revisar desgaste y presión	8-10h	0 h 20 m	Media
Sistema Bobcat de bloqueo	Comprobar indicadores y funciones	8-10h	0 h 20 m	Alta
Filtros de calefacción	Limpia/ cambiar	8-10h	0 h 40 m	Baja
Fluido, manguitos y conductos hidráulicos	Revisar nivel/ fugas	50h	2 h 00 m	Media
Tuercas de ruedas	Revisar/ apretar	50h	0 h 20 m	Alta
Faja de Alternador	Revisar tensión/ ajustar	250h/12m	0 h 30 m	Media
Faja de aire acondicionado	Revisar desgaste/ ajustar	250h/12m	0 h 30 m	Baja
Depósito de hidráulico	cambiar fluido	1000h/12m	1 h 00 m	Media
Caja de engranajes de ventilador	Revisar nivel de lubricante	250h/12m	0 h 30 m	Alta
Faja de transmisión de motor	revisar desgaste/ tope polea tensora	250h/12m	1 h 00 m	Alta

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla IV, la frecuencia de actividades de mantenimiento se basa según la última lectura y se programa en horas (h) de servicio o meses (m) transcurridos, lo que suceda primero.

1.4.4.5. Actividad programada por prioridad

Como se observa en las tablas II y IV, estas tienen una columna llamada prioridad, la cual es parte de los datos consignados en el plan de mantenimiento de una pieza, parte o equipo. En el momento de generar las órdenes de trabajo es importante considerar el tipo de prioridad de la actividad ya sea baja, media o alta, y con ello priorizar las actividades más urgentes o importantes.

1.4.5. Paros programados

Cuando se da de alta a una actividad de mantenimiento de la tabla II o IV, debe indicarse si esta requería paro o no, y en su caso, los días de paro.

El calendario deberá mostrar la fecha y los días de paro programados para cada equipo o parte del mismo; a continuación en la tabla V, un ejemplo de los paros programados para equipos de pavimentación.

1.4.6.1. Mano de obra

Como parte del inventario, es común la realización de un catálogo de mano de obra, el cual contiene los nombres, especialidades, costos por hora, y costos por horas extraordinarias del personal involucrado en labores de mantenimiento, como se puede observar en la tabla VI.

Tabla VI. **Catálogo de mano de obra**

CATÁLOGO - MANO DE OBRA						
Nombre Completo	Claves	Iniciales	Clasificación	Teléfono	Costo/h	Costo/h extraordinaria
Andrés Bello	6554332	AB	Ayudante de limpieza	044 55 54045560	\$40.00	\$70.00
Diego Martínez de Alba	7885787	DMD	Limpieza	044 55 54045580	\$50.00	\$80.00
Erick Hernández Oroscó	7854435	EHO	Electricista a	044 55 54045534	\$50.00	\$85.00
Fausto Ortiz	2435678	FO	Lubricador	044 55 54045532	\$45.00	
Hilario Ávila	8765987	HA	Mecánico a	044 55 54045556	\$50.00	
José Larios Ortega	4538467	SLO	Ayudante de electricista		\$330.00	\$460.00
Mario Gómez Cruz	8999765	MGC	Ayudante de mecánico		\$25.00	
Martin Cárdenas Ponce	7766854	MCP	Electrónico	044 55 54045589	\$60.00	
Martin Manjarres	3335436	MM	Mecánico C		\$30.00	\$55.00
Pablo Heredia Heredia	7666588	PH	Ayudante gral.		\$15.00	
Raúl Ordoñez	2342323	RO	Pintor	044 55 54055321	\$35.00	
Rigoberto Pérez	9009898	RP	Mecánico b		\$20.00	
Rodrigo Castro Ríos	6566633	RCR	Instrumentista	044 55 54045550	\$50.00	\$90.00
Rubén Omar Rodríguez Juárez	5545455	ROR	Jardinero	044 55 54765860	\$60.00	\$75.00

Fuente: adaptado de www.mpsoftware.com.mx. Consulta: agosto de 2013.

La información de este catálogo permite la designación de responsables para las órdenes de trabajo, así como el registro del tiempo consumido por concepto de mano de obra en cada una.

1.4.6.2. Proveedores

Como parte de la información de los catálogos en el inventario, es útil tener uno de proveedores con sus respectivos servicios que presta, e información de cómo contactarse con este en caso, de ser necesario.

En la tabla VII se muestra como ejemplo la información correspondiente a un proveedor, pero dentro del catálogo de proveedores debe tenerse a todos aquellos que brinden algún servicio en labores de mantenimiento.

Tabla VII. **Información de un proveedor de llantas**

Servicios del Proveedor:	LLANTAS DEL NORTE S.A		
Informacion General:			
Clave:	LL-547		
Clasificacion:	LLANTAS		
Direccion:	calle y #2 Hidalgo No.45		
	colonia centro D.F		
Telefono :	55348790 55678930 55304560		
Pagina web:	www.llantas_norte.com.mx		
FAX:	55 705987		
Servicio	Unidad	Costo	Garantia
Alineacion	Servicio	\$145.00	3 mes[es]
Balanceo	Pieza	\$45.00	3 mes[es]
Limpieza y ajuste de frenos	Servicio	\$85.00	
Montaje de llanta y valvulas	Pieza	\$35.00	

Fuente: adaptado de www.mpsoftware.com.mx. Consulta: agosto de 2013.

1.4.6.3. Control de herramientas

Este catálogo permite llevar un control de resguardo y devoluciones de todas las herramientas entregadas a los trabajadores; entre otras cosas, consultar ¿quién tiene? o ¿dónde? se encuentra cada una de las herramientas.

En tabla VIII se muestra un ejemplo del catálogo de control de herramientas.

Tabla VIII. Catálogo de control de herramientas

Descripción	Clave	Clasificación	Unidad	Cantidad en almacén	Cantidad en resguardo	Total
Aceitera de 1 Lt	AC-2454	Mecánica	pza.	8	0	8
Amperímetro y Multímetro de pinzas	AM-MULP-001	Eléctrica	pza.	0	0	0
Calibrador de cuerda estándar	CA-977080	Mecánica	pza.	5	0	5
Calibrador pie de rey con vernier	CA-96799756	Metrología	pza.	0	2	2
Calibres para espesores	CA-586097	Metrología	jgo	6	0	6
Calibres para roscas	CR-9547Y6	Metrología	jgo	2	0	2
Casco de protección	CA-568568	Seguridad	pza.	31	4	35
Chuck universal de 3 mordazas	CH-968765	Maq-Herramientas	pza.	2	0	2
Cinta métrica	CI-234E	Uso General	pza.	0	4	4
Computadora Lap Top ACER	CP-987654	Electrónico	pza.	1	0	1
Dados de 3/8" con extensión de 12" y 14"	DA-0886767	Mecánica	jgo	7	1	8
Dados milimétricos de 10 a 32mm.	DM-765789	Mecánica	jgo	2	0	2
Desarmadores Stanley (varios)	DE-968867	Uso General	jgo	3	0	3
Desatornillador de cruz	DE-7657	Uso General	jgo	2	4	6
Desatornillador plano	DE-97186	Uso General	jgo	2	4	6
Escuadra de acero de 30cm.	ES-5356	Albañilería	pza.	2	0	2

Fuente: adaptado de www.mpsoftware.com.mx. Consulta: agosto de 2013.

De la tabla VIII, la columna: cantidad en resguardo puede también utilizarse para el control en un momento dado para la herramienta que está con algún trabajador en carácter de préstamo. La columna más importante es: cantidad en almacén, pues esta indica la cantidad de herramienta disponible.

1.4.7. Inventario

Permite controlar existencias de materiales y repuestos, así como los movimientos de entrada y salida.

Tabla IX. **Inventario de repuestos y consumibles**

CATALOGOS - REPUESTOS Y CONSUMIBLES				
Descripción	No. Parte	Clasificación	Unidad	Existencias
Aceite de transmisión hidráulica	AC0038	LUBRICANTES	Lts.	510
Aceite Mobil 600w	ALA020	LUBRICANTES	Lts.	593
Aceite Multigrado ESSO	AC0040	LUBRICANTES	Lts.	229
Aceite SAE 20W40 marca ESSO	AC0033	LUBRICANTES	Lts.	200
Aflojatodo	SOLA015	SOLVENTES	frasco	26
Aire comprimido ECCO	AICO-4560	SOLVENTES	bote	4
Amortiguadores Gabriel 34-87	AMO-023	AUTOMOTRIZ	igo	2
Amortiguadores Gabriel 35-84	AMO-25	AUTOMOTRIZ	igo	0
Anticongelante	AN5630	AUTOMOTRIZ	bote	1
Anticongelante	AN-345	LUBRICANTES	L	30
Balatas para DODGE	BALA-568	AUTOMOTRIZ	igo	25
Balero 6201 ZZ	BAL0068	RODAMIENTOS	pieza	28
Balero 6202	BAL0069	RODAMIENTOS	pieza	27
Balero 6203 ZZ	BAL0070-1	RODAMIENTOS	pieza	10
Balero 6204 2SRC3	BAL0071-1	RODAMIENTOS	pieza	5
Balero 6208 ZZ	BAL0070-2	RODAMIENTOS	pieza	61

Fuente: adaptado de www.mpsoftware.com.mx. Consulta: octubre de 2013.

Normalmente se realizan vales con el fin de llevar el control de movimientos de salida de material, y con ello determinar los repuestos y consumibles necesarios para realizar las distintas actividades; en la tabla IX, un ejemplo de cómo llevar el inventario de repuestos y consumibles.

La consulta de repuestos en un inventario, antes de iniciar un trabajo, ayudará a evitar los contratiempos que se originan, previo a ello (ver tabla IX), y en el momento de la ejecución resulta que no se cuenta con los repuestos necesarios en el almacén.

Una ventaja es que al hacer la consulta sobre existencias se asegura que cuando el personal llegue o se traslade por los repuestos hacia el almacén, este tenga existencias, evitando así pérdidas de tiempo.

1.4.8. Órdenes de trabajo

Es importante observar en las tablas II y IV, la columna duración, la cual indica el tiempo estimado de la actividad de mantenimiento. El tiempo que aquí se registre será de mucha utilidad para distribuir cargas de trabajo entre el personal de mantenimiento.

Por esta razón es importante llevar un control de órdenes de trabajo asignadas por cada miembro del personal, a fin de calcular el número de horas asignadas a cada persona y con ello optimizar la distribución de los trabajos.

Las órdenes de trabajo deben generarse, de preferencia por semana, listando los equipos, su localización, los recursos que se requieren y las actividades de mantenimiento a realizar por cada equipo. Se pueden generar

también, por día o mes según las necesidades y la programación de actividades.

Si se tiene una correcta programación de actividades de mantenimiento, inventario y plan de mantenimiento, generar las OTs resulta ser menos complicado.

Las órdenes de trabajo se pueden generar, ya sea por especialidad (eléctrica, mecánica, pintura, etc.) o por semana de ejecución como se mencionó anteriormente. Al momento de generar las OTs es importante crear de forma simultánea los vales de salida de herramientas y consumibles para el control de inventario.

1.5. Fallas

Cuando ocurre una falla, esta se percibe a través de ciertas manifestaciones o síntomas, no así, la causa de la misma. Esto lleva en muchas oportunidades a actuar sobre las consecuencias y no sobre la raíz del problema, de modo que la falla vuelve a repetirse una y otra vez.

A mayor complejidad del sistema, habrá mayor dificultad en localizar el origen o raíz de la falla. Identificar la causa raíz es fundamental, pero solo de por sí, no resuelve el problema, para ello habrá que estudiar distintas acciones correctivas.

El análisis de causa raíz, es entonces una herramienta es utilizada para identificar la causa de falla, a manera de evitar sus consecuencias. Un análisis más profundo es mejor para ayudar a comprender los eventos y mecanismos

que actuaron como raíz del problema, los cuales se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Análisis de falla de componentes (CFA): implica el estudio de las piezas dañadas.
- Investigación de causa raíz (RCI): incluye a la anterior, más las causas físicas
- Análisis de causa raíz (RCA): incluye a las dos anteriores, además el error humano.

Para realizar el análisis de causa raíz a fondo (RCA), se debe ir más allá de los componentes físicos de la falla o raíces físicas, y analizar las acciones humanas o raíces humanas, que desataron la cadena causa-efecto que llevó a la causa física, lo cual implica analizar si la causa se debe a:

- Procedimientos incorrectos
- Especificaciones equivocadas
- Una falta de capacitación

Cualquiera de las razones anteriores puede mostrar raíces humanas latentes, es decir, deficiencias en la administración del mantenimiento, que de no corregirse, pueden hacer que la falla se repita nuevamente.

El análisis de causa raíz (RCA) tiene distintas aplicaciones, que van incluso, más allá del mantenimiento:

- Análisis de fallas: para encontrar fallas complejas en equipos o procesos críticos, lo cual es una aplicación reactiva.

- Análisis de fallas recurrentes de equipos o procesos críticos: lo cual es una aplicación proactiva.
- Análisis de modos de falla y sus efectos (FMEA).
- Análisis de errores humanos: en el proceso de diseño y aplicación de procedimientos.
- Análisis de accidentes e incidentes en sistemas de gestión de seguridad y salud ocupacional (SyOS).

El análisis de causa raíz es un proceso de deducciones lógicas, que permite graficar las relaciones causa-efecto que conducen a descubrir el evento indeseable o causa raíz, formándose así las interrogantes:

- ¿Cómo es la forma en que puede ocurrir la falla?
- ¿Por qué o cuáles son las causas de la misma?

Los hechos deben respaldarse mediante observación directa, documentación y deducciones científicas.

1.5.1. Tipos de fallas en equipos

El análisis de falla y causas raíz permite identificar los problemas más recurrentes y analizar qué condujo a la falla. El plan de mantenimiento es el que permite obtener información sobre el número de fallas por equipo o inmueble, así como identificar su tipo.

Es necesario, a fin de analizar la causa raíz de una falla, realizar una clasificación de los equipos, ordenándolos según el número de fallas, como se muestra en la tabla X.

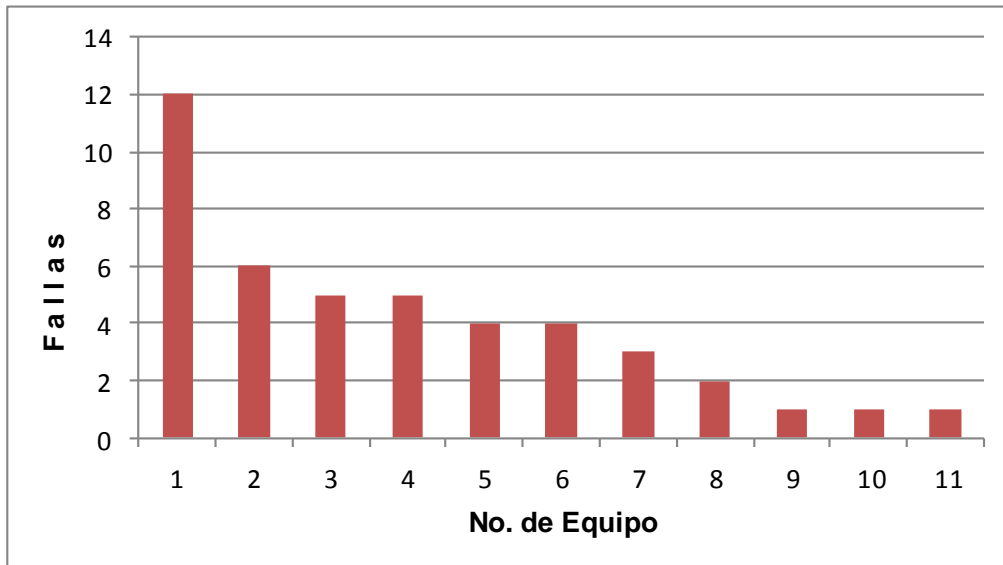
Tabla X. **Número de fallas por equipo de pavimentación**

No.	Tipo de Equipo	Fallas	Porcentaje de Fallas
1	Pavimentadora o esparcidora de concreto TEREX SF3502B	12	27%
2	Texturizadora TEREX BidWell TC-360	6	14%
3	Minicargador Frontal Bobcat S130	5	11%
4	Retroexcavadora Caterpillar 320D	5	11%
5	Vibrador de concreto	4	9%
6	Cortadora de concreto	4	9%
7	Hidrolavadora de alta presión HONDA	3	7%
8	Vibro compactador VH-45/4M-160	2	5%
9	Moto niveladora JOHN DEERE 672B	1	2%
10	Vibro compactador neumático con control de operador.	1	2%
11	Vibro compactador	1	2%

Fuente: elaboración propia.

La figura 2 describe de forma gráfica el comportamiento de las fallas de los equipos de pavimentación de la tabla X.

Figura 2. **Fallas en equipos de pavimentación**



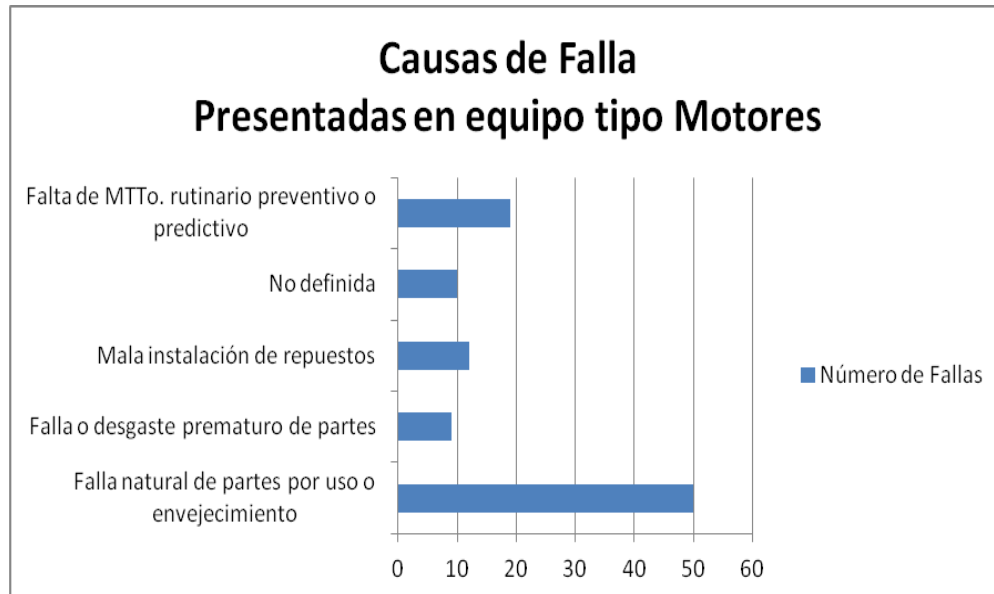
Fuente: elaboración propia.

El análisis de fallas incluye realizar el detalle de cada una de las partes de un equipo. Por ejemplo, para la pavimentadora de la tabla X, se tienen un total de 12 fallas, las cuales se describen y detallan como sigue:

- 4 por suciedad
- 4 en sensores de nivel
- 2 en carenajes
- 1 por fugas en acoples de tuberías
- 1 por conexiones eléctricas

La figura 3 muestra las conclusiones a las que puede llevar un análisis causa raíz en el caso particular de un motor.

Figura 3. **Causas de falla de equipo (tipo motores)**



Fuente: www.mpsoftware.com.mx. Consulta: octubre de 2013.

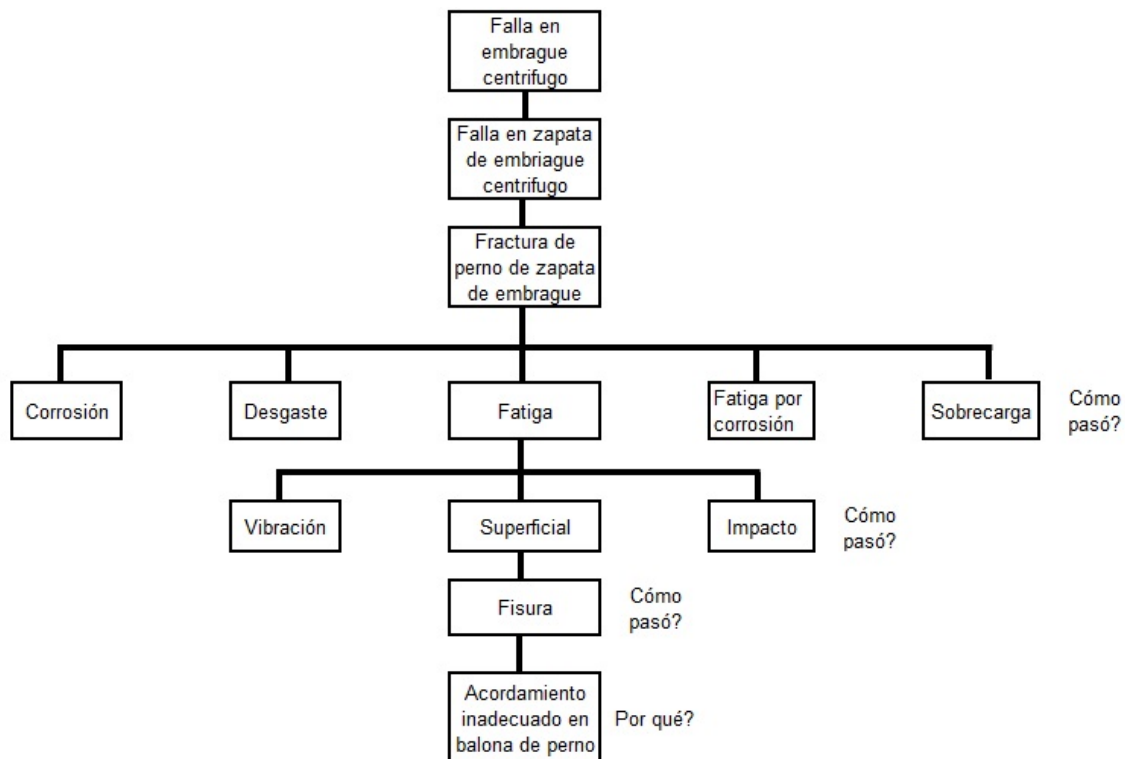
1.5.2. **Métodos de evaluación de condición de falla en los equipos**

Se utilizan gran variedad de métodos de evaluación y su elección depende del tipo de problema y datos existentes, pudiendo clasificarse los principales de la forma siguiente:

- Análisis causa-efecto.
- Árbol de fallo.
- Diagrama de espina de pescado.
- Software de RCA que ayuda a la construcción del árbol de fallos y a la documentación del proceso.

En la figura 4 se muestra un ejemplo de análisis causa raíz de un equipo de barrido mecánico diesel-hidráulico montado sobre un camión simple con poco tiempo de utilización, donde la mayoría de fallas se concentra en el embrague centrífugo.

Figura 4. **Análisis de causa raíz en embrague centrífugo**



Fuente: ALTMANN, Carolina. *El análisis causa raíz como herramienta en la mejora de la confiabilidad*. p. 4-7

Mediante la aplicación del análisis causa raíz, se estudian las distintas raíces físicas, humanas y latentes, es decir los factores que afectan la confiabilidad operacional.

A continuación se muestra un ejemplo de las soluciones de un análisis causa raíz en la tabla XI.

Tabla XI. **Ejemplo de soluciones de un análisis causa raíz**

Problema	Causas				Soluciones
	Causa física	Causa humana	Causa latentes	Causa Raíz	
Falla en embrague centrífugo	Fractura de perno	No	No	Falla diseño	<ul style="list-style-type: none"> Mejora de diseño de pernos
Desgaste acelerado en turbina	Abrasión	Mala operación	No	Incumplimiento de procedimientos	<ul style="list-style-type: none"> Revisión de procedimientos. Capacitación del operador.
Desgaste acelerador en interior de tolva	Recubrimiento inadecuado	Incumplimiento de procedimientos	Falta de información por parte del fabricante	<ul style="list-style-type: none"> Falla de diseño Incumplimiento de procedimientos 	<ul style="list-style-type: none"> Revisión de procedimientos. Capacitación del operador. Aplicación y Mantenimiento de recubrimiento adecuado
Falla de caja de transferencia	Sobrecarga de rodamientos. Desalineación entre el volante y el embrague	No	No	Falla diseño	Luego de reiterados reclamos, la fabrica envía Técnico en garantía que modifica el centrado del volante con el embrague y sustituye caja completa
Falla en arranque de motor auxiliar	Sobrecarga	El chofer se queda sin combustible, y continúa exigiendo al arranque	Tanque auxiliar con escasa capacidad para la operación diaria	Incumplimiento de procedimientos	<ul style="list-style-type: none"> Revisión de procedimientos. Capacitación del operador

Fuente: ALTMANN, Carolina. *El análisis causa raíz como herramienta en la mejora de la confiabilidad*. p. 4-7.

1.5.3. Beneficios

Dentro de los beneficios de la realización de un análisis de causa raíz, están:

- Reducción del número de incidentes o fallas
- Aumento de la confiabilidad y seguridad

- Disminución de costos de mantenimiento
- Aumento de la eficiencia y productividad

1.6. Tribología del mantenimiento

Es la ciencia y tecnología que estudia la lubricación, la fricción y el desgaste, de partes móviles o estacionarias. El término Tribología viene del término griego *tribos* que significa frotamiento o rozamiento, y *logia*, ciencia, por tanto la traducción literal será la ciencia del frotamiento.

Se establece que en la tribología, la lubricación, la fricción y el desgaste tienen una función fundamental en la vida útil de las partes de un equipo. La mayoría de las consecuencias de la fricción y el desgaste se consideran negativas, tales como el consumo de energía y la causa de las fallas mecánicas, sin embargo, existen beneficios fundamentales de la fricción y el desgaste. La interacción neumático y el piso, por ejemplo, o el zapato y el suelo, sin los cuales trasladarse sería imposible.

1.6.1. Lubricación

El propósito de la lubricación es la separación de dos superficies con deslizamiento relativo entre sí, de tal manera que no se produzca daño en ellas; se intenta con ello que el proceso de deslizamiento sea con el rozamiento más pequeño posible. Para conseguir esto se intenta, siempre que sea posible, que haya una película de lubricante (gaseoso, líquido o sólido) de espesor suficiente entre las dos superficies en contacto para evitar el desgaste.

1.6.2. Fricción

Se define como la resistencia al movimiento durante el deslizamiento o rodamiento que experimenta un cuerpo sólido al moverse tangencialmente sobre otro con el cual está en contacto. La fuerza tangencial de resistencia que actúa en una dirección directamente opuesta a la dirección del movimiento se conoce como fuerza de fricción.

1.6.3. Desgaste

Es el daño de la superficie o remoción de material de una o ambas superficies sólidas en movimiento relativo, ya sea por deslizamiento, rodamiento o impacto. La presencia de una capa de material ajeno en la interface no puede ser garantizada durante el proceso de deslizamiento, por lo tanto, se aplican lubricantes para disminuir la fricción y el desgaste.

1.6.4. Aplicaciones

La tribología está presente, prácticamente en todos los aspectos de la maquinaria, motores y componentes de la industria en general. Los componentes tribológicos más comunes son:

- Rodamientos
- Sellos
- Anillos de pistones
- Cepillos

- Engranés
- Frenos
- Embragues
- Levas

2. CARACTERIZACIÓN DE LOS EQUIPOS EMPLEADOS PARA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS DE PRIMER ORDEN EN GUATEMALA

Es importante conocer los principales equipos y su función en procesos de pavimentación. Por tal razón, los equipos que se describen a continuación corresponden a los que se utilizan actualmente en trabajos de pavimentación, usando concreto hidráulico en carreteras de primer orden en Guatemala.

A continuación se describen las generalidades de estos equipos, presentando algunos documentos, fichas técnicas de los fabricantes o manuales de usuario con la finalidad de conocer sus principales características.

2.1. Naturaleza y clasificación de los equipos

Para una mejor clasificación de los equipos de pavimentación en el presente trabajo de graduación, estos se reunirán en 2 grupos:

2.1.1. Equipo primario

En esta sección se incluye la maquinaria y el equipo que presenta mayor actividad en labores de fundición y que, por su importancia, debe ser revisado de forma continua a fin de garantizar su correcto funcionamiento.

Se clasifica de esta manera, ya que está formado por los equipos que presentan mayor importancia en la aplicación, por sus dimensiones, costo y uso dentro de la actividad de pavimentación.

Físicamente, los equipos son empleados para colocar el concreto, realizan el vibrado en la mezcla del concreto a fin de eliminar burbujas de aire de la carpeta o losa.

Los equipos primarios pueden también, aplicar acelerantes químicos al concreto (antisol, reductores de oxígeno y sellos), y finalmente realizar un texturizado en la superficie de la carpeta, la cual busca aumentar adherencia entre carpeta de concreto y neumáticos de los vehículos.

Todos los equipos primarios realizan las operaciones anteriormente citadas para la optimización del tiempo de ejecución de las actividades de pavimentación, la reducción de costos y de personal.

En el caso de las carreteras de primer orden, el equipo primario está formado por los siguientes equipos:

- Pavimentadora o esparcidora de concreto hidráulico
- Máquina de texturizado o texturizadora

2.1.1.1. Pavimentadora o esparcidora de concreto

En Guatemala, a septiembre de 2014, para la pavimentación de carreteras de primer orden en las cuales se emplea concreto hidráulico como

carpeta de rodada, se utilizan máquinas, cuyo proveedor principal es TEREX, con modelos específicos SF3502B y SF3502C, como se muestra en la figura 5.

Figura 5. Pavimentadora TEREX SF3502B



Fuente: Terex Corporation.

Las funciones de la máquina de la figura 5 son las de colocar el concreto, formando una carpeta con espesor y acabado uniforme, empleando sensores y demás partes para definir la calidad de la losa; adicionalmente, esta máquina en sus funciones realiza la vibración de la mezcla de concreto con la finalidad de eliminar burbujas de aire dentro del concreto.

2.1.1.1.1. Partes

Partes asociadas para la funcionalidad del equipo:

- Tuberías de presión hidráulica
- Sensores de nivel
- Filtro primario de combustible
- Filtro secundario de combustible
- Filtro de aceite

- Filtro de lubricante hidráulico
- Filtro de aire
- Filtro de sólidos en sistema hidráulico
- Carenajes de eje o caracol de esparcido
- Engranajes de rotación de eje o caracol de esparcido
- Tornamesa de desplazamiento y dirección

2.1.1.2. Máquina de texturizado superficial o texturizadora

El equipo mostrado en la figura 6 tiene como fin el proporcionar el acabado a la superficie de la carpeta de concreto (carretera). Este equipo forma entonces, una textura en forma de ranuras para proporcionar adherencia al contacto con los neumáticos de los vehículos y brindar con ello una mayor estabilidad a los mismos cuando estos están sobre la superficie de la carretera, sobre todo al momento de frenado y en curvas.

Figura 6. **Texturizadora de concreto**



Fuente: Terex corporation.

2.1.1.2.1. Partes

Partes asociadas a la funcionalidad del equipo de texturizado.

- Tuberías de sistema de aspersion de fluidos
- Filtro de fluidos de aspersion
- Filtro de sistema de aire
- Sensores de nivelacion
- Filtro de sistema de transmision
- Filtro de combustible
- Filtro primario de enfriamiento
- Filtro secundario de enfriamiento
- Peineta dentada para texturizado
- Ducto o tubería de aspersion

2.2. Inventario

Permite controlar existencia de materiales y repuestos, así como los movimientos de entrada y salida. Como parte del inventario se generan continuamente vales al personal, con el objetivo de llevar un control de entrada y salida de la herramienta y equipo menor.

En lo que se refiere a realizar un inventario de equipos y consumibles, como parte de un plan de mantenimiento preventivo, en este caso, el estudio tiene como objetivo la identificación *in situ* (en campo o en el lugar) de los componentes críticos, como parte de un plan de mantenimiento preventivo para equipos de pavimentación.

Por lo anterior, realizar operaciones de cambio de piezas como filtros o mangueras de presión por parte del personal en campo, queda sujeto a una previa autorización del proveedor del equipo, esto, considerando las políticas de mantenimiento de dichos equipos por parte de él..

En el siguiente capítulo, como parte de un plan de mantenimiento preventivo *in situ* de los principales equipos de pavimentación, usando concreto hidráulico en carreteras de primer orden en Guatemala, se incluirá un pequeño inventario, considerando lo anteriormente descrito, puesto que no es parte de las atribuciones del personal que opera los equipos el mantenimiento de los mismos.

Debe hacerse hincapié que, con la finalidad de evitar muertes en los procesos, los operadores podrán colaborar en la realización de los mantenimientos *in situ*, siempre que no requieran de procedimientos muy complejos que impliquen el traslado del equipo hacia el taller en planta.

2.3. Fichas técnicas y manuales de usuario

La información correspondiente a fichas técnicas y manuales de usuario puede consultarse en los anexos A y B. Los catálogos, fichas técnicas o manuales de usuario que se incluyen se refieren, únicamente, a los equipos primarios, considerando la importancia de los mismos en la aplicación.

3. PRINCIPALES ACTIVIDADES A REALIZAR PARA LA EJECUCIÓN DEL MANTENIMIENTO *IN SITU* DE LOS EQUIPOS DE PAVIMENTACIÓN

El capítulo 3 busca determinar *in situ* posibles actividades a implementar como parte de la realización del mantenimiento preventivo de equipos de pavimentación, por medio de información facilitada por proveedores de equipos e información obtenida con operadores de los equipos, utilizando la técnica de investigación de entrevista directa para determinar las actividades descritas.

3.1. Generalidades

En la utilización de maquinaria y equipos es común la necesidad de realizar algún tipo de reparación, la cual, seguramente pudo haberse evitado si se realizara el mantenimiento adecuado previamente, por tal razón, la realización de un mantenimiento *in situ* se está convirtiendo en una práctica necesaria cuando se utiliza equipo de alta demanda.

Cuando se dice que un equipo tiene una alta demanda, se refiere a que este trabaja en forma continua durante largos periodos de tiempo, aprovechando condiciones favorables de clima y tránsito para su utilización; lo cual, implica la fatiga de los equipos y la necesidad de realizar un mantenimiento *in situ* de los mismos, considerando que los equipos se utilizan a distancias considerables al taller de mantenimiento.

De acuerdo lo anterior, a continuación se desarrolla la descripción de las actividades que se sugieren para la ejecución del mantenimiento *in situ* de los equipos empleados en la pavimentación de carretas de primer orden.

3.2. Antecedentes

Por las dimensiones de los equipos primarios que se muestran en las figuras 5 y 6, una falla que implique un paro en el proyecto representará pérdidas considerables para la empresa que ejecuta los trabajos de pavimentación y retraso en la entrega de los mismos, como se muestra en las figuras 7 y 8.

Por tal motivo, el presente trabajo de graduación busca determinar las partes del equipo a las cuales es posible realizar un mantenimiento preventivo *in situ* (en campo o en el lugar).

Es de aclarar que *in situ* normalmente no se cuenta con un amplio *stock* de repuestos como para realizar mantenimiento mayor a un equipo relativamente complejo y de dimensiones como las mostradas en las figuras 5 y 6; por otro lado, realizar un cambio de partes *in situ* a estos equipos, de igual forma implicaría llevar hacia las carreteras donde se utilizan los equipos un amplio almacén de partes y consumibles.

Sin embargo, se tiene como antecedentes, como se muestra en las figuras 17, y 24 a la 27, registros de que muchas veces en campo se han realizado actividades de mantenimiento, con el único objetivo de asegurar la disponibilidad de los equipos.

Por razones como las anteriores, se hace la descripción de las actividades de mantenimiento *in situ*, que en parte se tiene como registro, y se propone como una opción de mantenimiento preventivo, para que otros grupos o equipos de trabajo adopten las actividades en que consta.

3.2.1. Políticas de mantenimiento preventivo del proveedor

Las actividades de mantenimiento mayor de los equipos deben ser realizadas por personal técnico del proveedor del equipo o del fabricante, directamente en planta, donde se tiene disponibilidad de repuestos, equipos de medición y calibración.

Considerando que el fabricante de los equipos, recomienda cierto número de horas de uso continuo de los equipos, pero que este no asegura el desempeño de los mismos en función de las condiciones topográficas y del clima (temperatura ambiente, salinidad, humedad relativa), del lugar donde se utilizan los equipos, se hace necesario contar con un plan de contingencia (mantenimiento *preventivo in situ*, previo a iniciar operaciones con los equipos y al finalizar la jornada de trabajo), el cual asegure la disponibilidad de los equipos.

En actividades de pavimentación, el uso continuo de los equipos es relativo, puesto que muchas veces el flujo vehicular en el lugar y las condiciones del clima causan atrasos en la ejecución, lo que implica recuperar tiempo, aumentando algunas veces, las horas de uso continuo del equipo, aprovechando condiciones favorables.

Es común entonces, que los ingenieros a cargo, busquen aprovechar las condiciones favorables de trabajo para obtener un mayor avance en las actividades de pavimentación.

3.2.2. Acciones realizadas en caso de falla

En caso de falla de los equipos primarios, si no se tiene cómo corregirla en campo, esto implica realizar el traslado de los equipos con el uso de plataformas de traslado (*low boy*), con el objetivo de llevarlo hacia la planta para su reparación.

Para garantizar el adecuado funcionamiento de la maquinaria y del equipo empleado en pavimentación de carreteras utilizando concreto hidráulico, es necesario, revisar, calibrar y reemplazar algunos componentes fundamentales y que muchas veces deben realizarse en la planta proveedora de la maquinaria y del equipo, haciendo necesario el traslado de este hacia la planta de distribución para su mantenimiento.

En las figura 7 y 8 se observa el traslado del equipo primario y los elementos que, según observaciones de los operadores de los mismos, deben necesariamente revisarse y calibrarse en planta de distribución para obtener los resultados deseados en el proceso de pavimentación.

Figura 7. Maniobras para traslado de equipo primario (pavimentadora o esparcidora de concreto) hacia planta de distribución para realización de mantenimiento mayor



Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 occ. Guatemala.

Figura 8. Traslado de equipo primario (pavimentadora o esparcidora de concreto) hacia planta de distribución para realización de mantenimiento mayor



Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 occ. Guatemala.

Figura. 9. **Sensores de nivelación, componente sugerido por operadores de los equipos en campo para su calibración en planta**



Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 occ. Guatemala.

Las figuras 7 y 8 corresponden al traslado del equipo primario utilizado en la pavimentación del tramo de San Cristóbal a San Lucas Sacatepéquez (CA-1 occ). El equipo fue trasladado hacia la planta de distribución de máquinas y equipos por problemas de ajuste en los sensores de nivelación, como se muestra en la figura 9.

3.3. Definición de las acciones a realizar para ejecutar el adecuado mantenimiento de los equipos *in situ*

Por la importancia de los equipos de pavimentación con concreto hidráulico en carreteras de primer orden en Guatemala, se consideran algunas acciones para la realización del mantenimiento.

3.3.1. Equipo primario

Es la maquinaria y equipo que presenta mayor actividad en labores de fundición del concreto hidráulico, y que por su importancia, debe ser revisado de forma continua, para con ello garantizar su disponibilidad y correcto funcionamiento; a continuación la maquinaria principal y los equipos. El equipo primario está compuesto por las siguientes máquinas:

- Pavimentadora o esparcidora de concreto
- Máquina de texturizado o texturizadora

3.3.1.1. Pavimentadora o esparcidora de concreto hidráulico

A septiembre de 2014, para la pavimentación de carreteras de primer orden, en las cuales se emplea concreto hidráulico como carpeta de rodada, se trabaja con máquinas de los proveedores TEREX con modelos específicos SF3502B y SF3502C.

Figura 10. **Máquina pavimentadora o esparcidora TEREX SF3502B**



Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 occ. Guatemala.

Los proveedores de maquinaria proveen a usuarios de una serie de recomendaciones que, según diseñadores de equipos y componentes, debieran considerarse para garantizar su funcionalidad adecuada.

Es de hacer hincapié en que los proveedores especifican recomendaciones para el uso de los equipos bajo condiciones ideales, motivo por el cual es indispensable conocerlas, bajo condiciones reales de trabajo *in situ*.

A continuación se hará referencia a un conjunto de actividades y elementos con base en las experiencias en campo de operadores de equipos de pavimentación, y que según ellos deben priorizarse para la funcionalidad adecuada de dicho equipo previo a la realización de algún mantenimiento programado mayor o correctivo programado por parte de los proveedores.

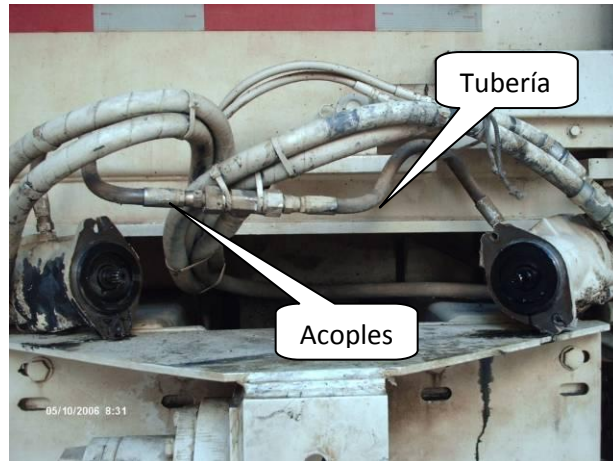
3.3.1.1.1. Revisión y reemplazo de tuberías de presión hidráulica

Según el fabricante de la colocadora de concreto o colocadora, este establece que en condiciones ideales de trabajo, las tuberías deberían ser reemplazadas cuando superan las 2 000 horas de uso.

La experiencia adquirida *in situ* durante las actividades de pavimentación, establece que las constantes variaciones en las condiciones reales de trabajo, principalmente en la superficie donde se realizará la pavimentación, provoca muchas veces sobrepresión en tuberías de fluidos hidráulicos que, a su vez, deterioran de forma prematura las tuberías, principalmente, en la parte de los acoples y uniones.

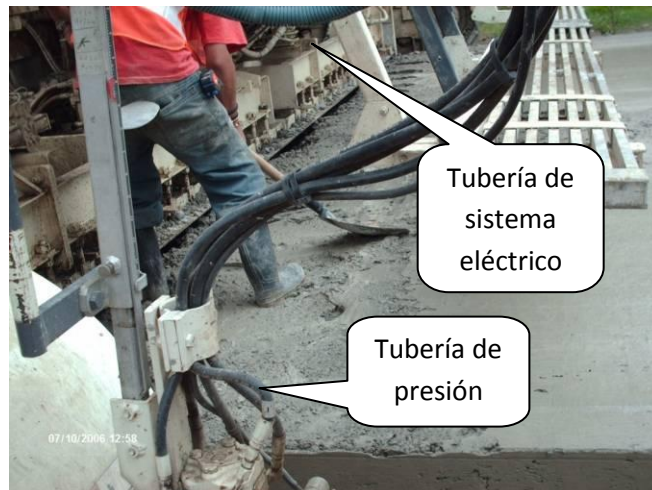
En las figura 11 y 12 se muestran tuberías de presión hidráulica, acoples, y tubería de sistema eléctrico.

Figura 11. **Tubería y acoples de sistema hidráulico**



Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 occ. Guatemala.

Figura 12. **Tubería sistema de presión y eléctrico**



Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 occ. Guatemala.

3.3.1.1.2. Revisión y reemplazo de filtros para fluidos

Los proveedores de equipos de pavimentación recomiendan que los filtros para los distintos fluidos, como combustible, fluidos de presión hidráulica, así como materiales que se aplican en trabajos de pavimentación (fluidos acelerantes, de reducción de oxígeno, antisol y sellos, estos últimos, aplicados en la superficie del concreto ya colocado), deben ser revisados o cambiados para el correcto funcionamiento del equipo (ver tabla XII).

Tabla XII. **Horas de cambio de filtros de equipo TEREX**

PROGRAMACIÓN DE MANTENIMIENTO							
EQUIPO: TEREX							
FILTROS	8 hrs	40 hrs	250 hrs	500 hrs	1000 hrs	1 año	SÍ ES NECESARIO
Separador de agua/combustible	D			R			F
Succión				R			C
Aire							C/R
Aceite de motor				R			
Bomba auxiliar		I		R			
<i>I : inspección D : vaciar R : Reemplazar F : Llenar C : Limpiar</i>							

Fuente: Cedarapids. *Manual Operation, Maintenance*. Terex Company.

Las actividades de mantenimiento a los filtros de la tabla XII deben ser realizadas, como consecuencia de la pérdida de propiedades de viscosidad de los lubricantes y a la contaminación por sedimentación de fluidos. (Ver sección 1.6 Tribología y lubricantes).

Para las condiciones reales de trabajo, operadores de los distintos equipos de pavimentación sugieren que según las variaciones del entorno de los equipos durante la ejecución de los trabajos, tanto por aspectos de superficie, topografía y ambiente, los filtros deben ser revisados en un periodo

no mayor a una semana o 50 horas de uso para los filtros de combustible, y diariamente o cada 24 horas para los filtros del resto de fluidos (fluido hidráulico y aire, entre otros).

En la tabla XIII se muestran las características de filtros de equipos primarios.

Tabla XIII. Características de filtros

FILTRO	TIPO	COMPOSICIÓN	L	PESO	ROSCA	φ	φ
	Baldwin					IN	OUT
				mm	KGS	mm	mm
Separador de agua/combustible	BF1293-SPF	Contiene puerto sensor, drenaje y utiliza O-ring para sello en poste.	254.8	0.965	M14x2.0		93.7
Succión	PF7735	Utiliza O-ring (incluido)	103.2	0.27			
Aceite de motor	BT292	Filtro sellado de aceite	307.2	1.911	M36x1.5		137
Combustible	BF900	Filtro sellado de combustible	136.5	0.499	M16x1.5		93.7
Sistema hidráulico	BT9422	Filtro de sellado hidráulico	204		M24x1.5		95.3
Flujo Completo de Lubricante	B236	Contiene válvula de anti retorno	206.4				93.7
Hidráulico con resorte unido	PT9181	Contiene válvula de derivación. Utiliza O-ring	219.1	0.602		45.2	99.2
Aceite de motor	B228	Filtro sellado. Válvula anti retorno	88.9	0.34			76.2
Transmisión	BT354	Sistema de transmisión. Tiene válvula de derivación.	136.5	0.556			93.7
Aceite	PT108	Elemento de lubricación de flujo completo.	114.3	0.125		21.4	73.8
Aire	RS3988	Filtro de aire con sello radial exterior	312.7	0.68		80.2	128
Filtro de combustible	BF840	Filtro en línea, entrada y salida 5/16 pulg.	105.6	0.087			
L : Longitud		φ IN : Diámetro interior		φ OUT: Diámetro exterior			

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Filtros de combustible**



Fuente: Rico Europe Terex Parts Filter.

Figura 14. **Filtro para retención de sólidos en combustible**



Fuente: Rico Europe Terex Parts Filter, 2008.

Figura 15. **Filtros de sistemas hidráulicos**



Fuente: Rico Europe Terex Parts Filter.

Figura 16. **Filtro de sólidos en sistema hidráulico**



Fuente: Rico Europe Terex Parts Filter, 2008.

3.3.1.1.3. Carenajes de eje o caracol de esparcido

Sobre los carenajes utilizados en el eje o caracol de esparcido de concreto, los proveedores de dichos equipos indican que los mismos se revisan solo al momento de realizarles el chequeo y mantenimiento en planta, siendo este realizado en el caso que el equipo manifieste algún tipo de deficiencia, recomendando únicamente limpieza continua en el dispositivo, para evitar así la adherencia de concreto en este.

Por otro lado, los operadores de los equipos *in situ* sugieren la revisión o reemplazo de los carenajes de caracol de esparcido cuando se detecte algún tipo de vibración irregular, o bien algún sonido fuera de lo normal en el sector del carenaje, incluyendo los engranes o bien, cuando el equipo muestre algún mal funcionamiento en el área. (Aplicación de análisis VOSO como ensayo no destructivo).

A su vez, si el uso del equipo es continuo (diario), debería ser revisada la viscosidad de la grasa aplicada a los carenajes, con una frecuencia de una vez, en un periodo entre comprendido entre veinte y treinta días, como se muestra en las figuras 17 a la 21.

Figura 17. **Carenaje principal del eje o caracol de esparcido de concreto**



Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 occ. Guatemala.

Figura 18. **Carenaje principal del eje o caracol**



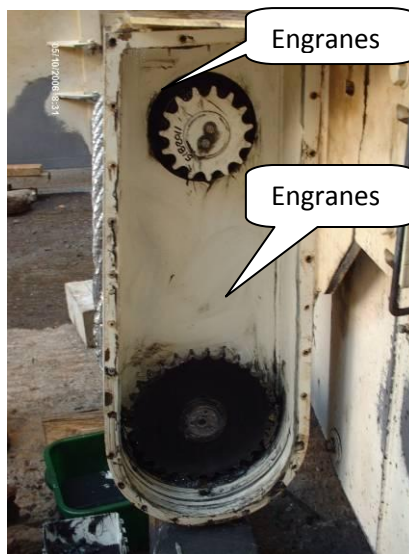
Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 occ. Guatemala.

Figura 19. **Carenaje principal del eje**



Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 occ. Guatemala.

Figura 20. **Engranes de rotación de eje o caracol de esparcido de concreto**



Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 occ. Guatemala.

Figura 21. Pernos del engrane de rotación de eje



Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 occ. Guatemala.

3.3.1.1.4. Implementación de actividades de mantenimiento preventivo *in situ*

Los operadores de equipos *in situ* unifican los criterios sobre la necesidad de liberar de residuos al final de la jornada de trabajo a todos los equipos empleados en el proceso, residuos provenientes del concreto esparcido durante el período de operación del equipo.

La actividad en referencia es posible realizarla *in situ*, con la aplicación de agua a presión en la tornamesa de alisado y el eje de caracol o esparcido como se muestra de la figura 22 a la 25.

Figura 22. **Remoción de residuos en tornamesa de alisado de concreto superior a 2 pulgadas**



Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 occ. Guatemala.

Figura 23. **Remoción de residuos de concreto en eje o caracol de esparcido**



Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 occ. Guatemala.

Figura 24. **Limpieza superficial profunda del eje o caracol de esparcido**



Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 occ. Guatemala.

Figura 25. **Limpieza superficial profunda con equipo de protección**



Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 occ. Guatemala.

Posterior a la limpieza superficial profunda del eje o caracol de esparcido, con equipo de protección para prevenir el contacto constante del personal con los fluidos que contiene el concreto (fluidos acelerantes, de reducción de oxígeno, antisol y sellos), se realiza una revisión (análisis VOSO como ensayo no destructivo) en las mangueras de presión, como se muestra en la figura 26.

Figura 26. **Revisión de mangueras de presión**



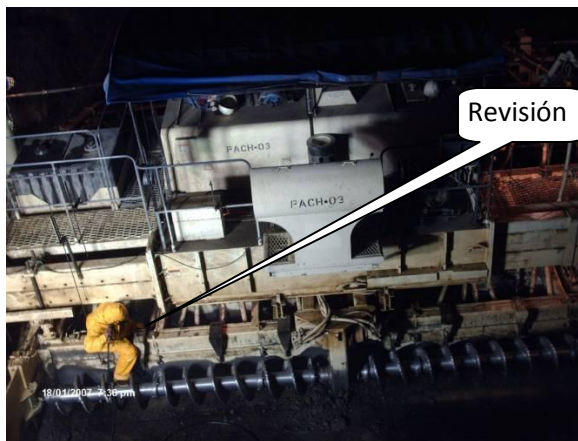
Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 occ. Guatemala.

Al finalizar el período de operación ordinario de la máquina de esparcido, y con la finalidad de mantener su disponibilidad para la siguiente jornada de trabajo, se realiza entonces como parte del mantenimiento preventivo *in situ*, la revisión general de los distintos componentes, evaluando la condición de los sistemas hidráulicos, de combustión, y de rotación o funcionalidad de los distintos componentes de la maquina, esto, por medio de un análisis VOSO.

En la figuras 27 y 28 se muestra, la actividad de revisión, donde se determina el deterioro, fugas, o bien, el reemplazo de partes *in situ* que se

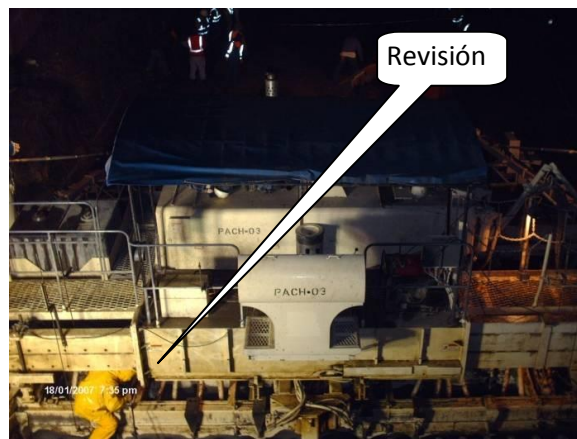
puedan cambiar, normalmente consumibles como filtros de aire, de combustible, tuberías o conectores de tuberías hidráulicas o bien sea de presión.

Figura 27. **Revisión nocturna, como parte del mantenimiento *in situ* de la máquina de esparcido de concreto**



Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 occ. Guatemala.

Figura 28. **Revisión nocturna, donde el personal a cargo realiza la actividad utilizando el equipo de protección, como parte del mantenimiento *in situ* de la máquina de esparcido de concreto**



Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 occ. Guatemala.

3.3.1.1.5. Tornamesa de desplazamiento

También debiera realizarse la revisión continua de los ejes y componentes básicos de la tornamesa de desplazamiento y dirección como parte de un mantenimiento *in situ*.

De forma usual esta sección del equipo es una parte o componente que con base a experiencias previas de los operadores, solamente se realiza un mantenimiento *in situ*, al momento de presentarse algún problema, y si el caso lo requiere, poder reemplazar algún elemento o componente.

En el caso que la tornamesa de desplazamiento presentara un problema mayor, usualmente es necesario el traslado hacia la planta de distribución de las máquinas para ser cambiadas las partes defectuosas, considerando también que ahí se tiene facilidad de la herramienta necesaria para este efecto.

Figura 29. **Tornamesa de desplazamiento y dirección**



Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 occ. Guatemala.

Figura 30. **Tornamesa de desplazamiento y dirección**



Fuente: Terex corporation, 2008.

3.3.1.2. Equipo de texturizado y curado de concreto hidráulico

De forma similar al equipo de esparcido de concreto hidráulico, los proveedores de aparatos necesarios para trabajos complementarios en pavimentación, específicamente los de texturizado, recomiendan que los filtros para los distintos fluidos deben ser reemplazados a las 3 000 horas de operación, un mayor período comparado con el de la esparcidora.

La condición descrita con anterioridad, respecto al periodo de reemplazo de los filtros, obedece a las menores condiciones de esfuerzo a los que está sometido la máquina, pero debiendo considerar el monitoreo constante de los filtros en el equipo, cuya finalidad es la aplicación de distintos materiales de curado y protección del concreto.

Los principales filtros para los que se sugiere revisión y reemplazo de ser necesario, *in situ*, son los de combustible, presión hidráulica y del aspersor de los distintos materiales que se emplean en trabajos de pavimentación, (fluidos acelerantes, de reducción de oxígeno, antisol, sellos, etc), todos aplicados en la superficie del concreto colocado utilizando el equipo de texturizado.

En la figura 31 se observa la máquina de texturizado y acabado final del concreto colocado durante la aplicación de aditivos, acelerante y antisol, entre otros.

Figura 31. **Máquina de texturizado Terex Bid-Well TC-360**



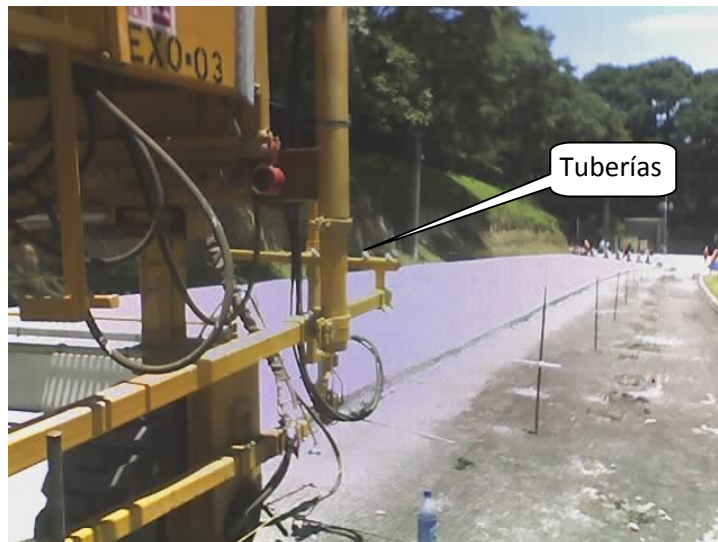
Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 occ. Guatemala.

Los operadores del equipo de texturizado sugieren en primera instancia, el monitoreo y limpieza como parte del mantenimiento *in situ*, específicamente de las tuberías de conducción y esparcido de materiales para garantizar la menor cantidad de obstrucciones y el funcionamiento correcto de la máquina.

Usualmente, la limpieza de los dispositivos en mención, puede realizarse utilizando agua y aplicando esta con equipos de alta presión o presión industrial; sugiriéndose la revisión de los filtros y tuberías del equipo de texturizado previo al inicio de los trabajos.

En la figura 32 se muestran las principales tuberías para verificar previo al inicio de operación del equipo de texturizado.

Figura 32. **Revisión *in situ* de tuberías de aspersión de fluidos sobre la superficie del concreto colocado**



Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 occ. Guatemala.

Una de las principales actividades para el mantenimiento *in situ* resulta ser la revisión continua y reemplazo de los filtros de los distintos componentes de los equipos, en el caso específico de la texturizadora, se consideran por los proveedores los siguientes filtros para garantizar su funcionalidad, Ver figuras 33 a la 35.

Figura 33. **Filtro de texturizadora al momento de ser revisado en un mantenimiento *in situ***



Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 occ. Guatemala.

Figura 34. **Filtros de sistemas de aire y transmisión**



Fuente: Rico Europe Terex Parts Filter, 2008.

Figura 35. **Filtros de sistema de combustible y enfriamiento**



Fuente: Rico Europe Terex Parts Filter, 2008.

Posterior a la revisión y limpieza de los filtros, de forma similar al resto de máquinas que funcionan con la utilización de bombas hidráulicas, se recomienda la revisión de tuberías de fluidos, especialmente en las juntas o acoples de las tuberías para verificar posibles pérdidas de presión, ver figura 36.

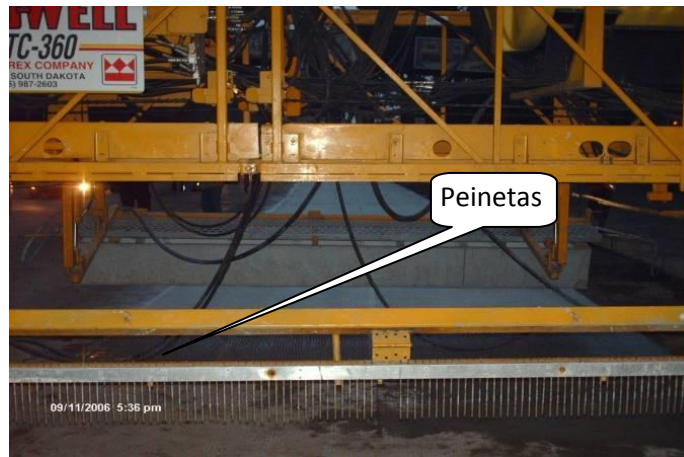
Figura 36. **Principales sectores evaluados *in situ* para garantizar el flujo de materiales complementarios a la superficie del concreto colocado**



Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 occ. Guatemala.

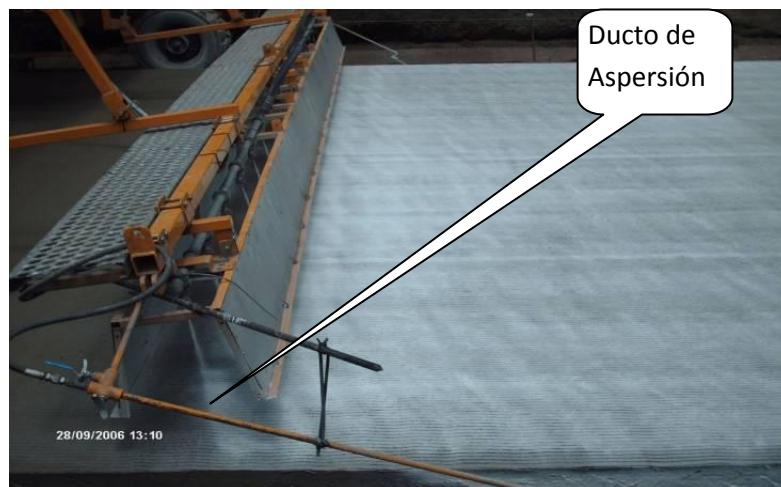
Otra de las operaciones que se deben realizar, como actividad del mantenimiento *in situ*, es la revisión de las peinetas o dentadas utilizadas en la realización de textura superficial del pavimento, y los ductos de aspersion, detalle que se presenta en las figuras 37 a la 39.

Figura 37. **Detalle de la peineta o dentada utilizada en la realización de textura superficial del pavimento**



Fuente: rehabilitación CA-1 occ. Guatemala.

Figura 38. **Detalle del ducto de aspersión que debe ser revisado como parte del mantenimiento preventivo *in situ***



Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 occ. Guatemala.

Figura 39. **Aspersión de materiales para la textura superficial del concreto**



Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 occ. Guatemala.

El proceso de pavimentación de carreteras de concreto hidráulico requiere de equipos adicionales o secundarios, también deben ser revisados de forma constante para que la funcionalidad de los mismos sea la adecuada y se evite con ello la reparación correctiva *in situ* de los mismos.

Aunque los equipos secundarios pueden ser reemplazados de forma inmediata, los mismos deben considerarse como necesarios para la ejecución de los trabajos, a continuación imágenes de los equipos secundarios que complementan el proceso de pavimentación.

3.3.2. Equipo secundario

Dentro del equipo secundario utilizado de forma común en el proceso de pavimentación se pueden citar por su importancia el siguiente:

- Minicargadores frontales

- Vibradores de concreto
- Cortadora de concreto
- Hidrolavadora de alta presión

3.3.2.1. Minicargadores frontales

Estos equipos son empleados, principalmente para acomodar de forma inicial el concreto antes de ser esparcido por la pavimentadora o esparcidora de concreto sobre la superficie para pavimentación; también requiere mantenimiento *in situ*, siendo necesario la revisión de tuberías hidráulicas, así como filtros de combustible, aire y sistemas hidráulicos.

En la figura 40 se muestra el mini cargador frontal, parte del equipo secundario necesario en el proceso de pavimentación.

Figura 40. **Mini cargador frontal empleado para distribución frontal del concreto**



Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 occ. Guatemala.

3.3.2.2. Vibrador manual de concreto

Otro equipo secundario muy importante es el vibrador de concreto, este requiere de revisión, control y mantenimiento similar al de los mini cargadores y las cortadoras de concreto; los modelos y marcas de los equipos pueden variar según requerimientos.

En las figura 41 a la 43 se observan dos de los principales modelos de vibradores en referencia y los principales elementos a revisar *in situ*, para asegurar su disponibilidad.

Figura 41. **Utilización del vibrador manual de concreto sin accesorio de traslado**



Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 occ. Guatemala.

Figura 42. **Vibrador manual de concreto sin accesorio de traslado VH-45/4M-160**



Fuente: <http://www.energiaypotencia.com>. Consulta: julio de 2013.

Figura 43. **Vibrador manual de concreto con accesorio de traslado**



Fuente: <http://grisco.net/>- Consulta: julio de 2013.

En el caso de vibradores de concreto debe verificarse que el componente ubicado en el extremo de la manguera, cumpla con la función de generar vibración, caso contrario, este es el primer accesorio que debiera reemplazarse en los mismos.

De forma complementaria con el mantenimiento *in situ* de este equipo, deben revisarse los filtros de combustible, aire y bujías; ver en figuras 44 y 45, los principales accesorios a revisar.

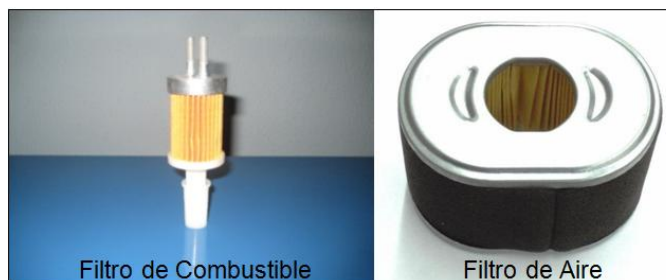
Figura 44. **Manguera principal de vibrador de concreto**



Fuente: <http://www.branco.com.br/es/produutos>. Consulta: julio de 2013.

Para esta manguera el fabricante recomienda un uso continuo de 8 horas como máximo en una jornada de operación.

Figura 45. **Filtros de aire y combustible para motores de dos tiempos**



Fuente: <http://queretarocity.olx.com.mx>. Consulta: julio de 2013.

3.3.2.3. Cortadora de concreto

Las cortadoras de concreto, también son equipos secundarios durante el proceso de pavimentación con concreto hidráulico de carreteras de primer

orden, estos equipos son empleados para realizar el sisado de lozas en el pavimento fundido.

Se requieren de mantenimiento *in situ*, este incluye la revisión de niveles de lubricante, filtro de aire, filtro de combustible y las condiciones del disco de corte.

De la figura 46 a la 48 se muestran cortadoras de concreto y operación *in situ* de las mismas durante el proceso de pavimentación.

Figura 46. **Cortadora de concreto**



Fuente: <http://spanish.alibaba.com/>. Consulta: julio de 2013.

Figura 47. **Utilización de cortadora de concreto en pavimentos**



Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 occ. Guatemala.

Figura 48. **Utilización de cortadora de concreto**



Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 occ. Guatemala.

Para el mantenimiento *in situ* de las cortadoras de concreto, además de la revisión de los niveles de lubricante del motor, es necesario revisar los filtros de aire, combustible y que los discos de diamante no presentes desgastes considerables para el corte de concreto.

Los filtros de las cortadoras de concreto, usualmente son similares a los empleados en otros equipos secundarios, variando únicamente su clasificación según el proveedor (ver figura 45).

El mantenimiento será similar al de los vibradores de concreto y los mini cargadores frontales; en la figura 49 se muestra el disco de diamante, comúnmente empleado en las cortadoras de concreto.

Figura 49. **Discos de diamante empleados en las cortadoras de concreto**



Fuente: www.archerusa.com, 2013. Consulta: agosto de 2013.

3.3.2.4. Hidrolavadora de alta presión

Equipo secundario, cuya función principal se realiza durante las actividades de limpieza, tanto de los equipos primarios, como de los secundarios, convirtiéndose en un equipo indispensable para el mantenimiento *in situ*.

La función principal del equipo de hidro lavado es la remoción de residuos de concreto en los equipos y herramientas utilizadas durante el proceso de pavimentación, por lo que es necesario su traslado permanente para poder disponer del mismo en cualquier momento en el que es requerido, como se muestra en las figura 50 a la 53.

Figura 50. **Hidrolavadora de alta presión, ubicada de forma permanente como equipo secundario en pavimentadora o esparcidora de concreto**



Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 occ. Guatemala.

Figura 51. **Motor principal de hidrolavadora de alta presión**



Fuente: <http://sites.amarillasinternet.com>. Consulta: julio de 2013.

Figura 52. Modelos de hidro lavadora de alta presión utilizados en mantenimiento *in situ*



Fuente: <http://www.preciolandia.com/>. Consulta: julio de 2013.

Figura 53. Tubería principal de conducción de agua de alta presión



Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 OCC. Guatemala.

3.3.3. Otros equipos

El proceso de pavimentación de carreteras de primer orden con concreto hidráulico, requiere de una cantidad considerable de maquinaria y equipos, mismos que son necesarios para realizar la construcción en sus distintas etapas; dentro de la maquinaria y equipos en referencia se tienen:

- Vibro compactador manual
- Retroexcavadora
- Moto niveladora
- Vibro compactador neumático con control para operador

De la figura 54 a la 57 se presentan los principales equipos y maquinaria necesarios para realizar actividades complementarias del proceso de pavimentación, dejando abierta la utilización de diferentes marcas y modelos una vez se cumpla con la actividad requerida.

Figura 54. **Actividades realizadas utilizando vibro compactador manual**



Fuente: Supervisión rehabilitación CA-1 occ., Guatemala.

Figura 55. Actividad de demolición y limpieza realizada por retroexcavadora



Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 occ., Guatemala.

Figura 56. Nivelación de superficie o rasante en carretera, realizada por moto niveladora



Fuente: *Supervisión rehabilitación CA-1 occ., Guatemala.*

Figura 57. Compactación de superficie nivelada, realizada por vibro compactador neumático con control de operador



Fuente: supervisión rehabilitación CA-1 occ. Guatemala.

3.3.4. Reemplazo de dispositivos o partes en los equipos

En *in situ* no es recomendable realizar reemplazo de partes complejas de un equipo, esto puede hacerse en planta o taller de mantenimiento, como se indicó en la sección 3.2.

Para mantenimiento mayor o reemplazo de partes muy complejas es necesario tener herramienta y equipos de medición y calibración, los cuales normalmente se tienen en los almacenes o talleres, lo que sí es posible realizar *in situ* es el cambio de consumibles en partes o equipos (filtros, mangueras de presión, acoples de mangueras etc.).

En otros casos el mantenimiento *In situ* puede resumirse a realizar actividades como limpieza, lubricación y revisión de niveles de combustibles y lubricantes como parte de las actividades *in situ*.

La principal razón, por la cual no se realizan los cambios de partes a equipos o máquinas, es básicamente por políticas de mantenimiento del proveedor de los equipos, pues ellos indican que todo mantenimiento en planta o *in situ* debería realizarse por técnicos especializados y también, porque esta no es la actividad que debe realizar el personal que utiliza los equipos o trabaja en actividades de pavimentación en campo.

3.3.5. Justificación de un Mantenimiento preventivo *in situ*

Es necesario realizar un mantenimiento preventivo *in situ* a los equipos de pavimentación, sobre todo a los primarios, por las siguientes razones:

- Los equipos de pavimentación se utilizan en carreteras, cuya ubicación geográfica, normalmente es a distancias considerables de los talleres de mantenimiento o áreas pobladas, lo que hace difícil su traslado continuo a planta o bien su reemplazo del equipo en forma inmediata.
- Los períodos de uso continuo de los equipos dependen directamente de los requerimientos de avance de la obra, condiciones topográficas y de clima predominantes en el lugar de ejecución.
- Los equipos responden mecánicamente de distinta forma según las condiciones ambientales donde estos se utilicen (altura sobre nivel del mar, humedad, temperatura, velocidad del viento, etc.), siendo necesario el monitoreo constante de las máquinas y sus partes para minimizar la probabilidad de un paro inesperado o no programado.
- La limpieza de los equipos es importante al inicio y final de cada jornada de trabajo, pero el mantenimiento *in situ*, no se limita solamente a labores de limpieza, debe considerarse también actividades como la revisión de componentes mecánicos (engranajes, carenajes, aspersores, sensores, tornamesas, y demás partes) de los equipos para garantizar su funcionalidad.
- Según operadores y demás personal involucrado en labores de pavimentación, establecen que la mayoría de los paros no programados obedecen a paros generados por fallas mecánicas ocasionadas por la falta de mantenimiento que fácilmente pudiera realizarse *in situ*, teniendo como consecuencia fallas en la calidad de la obra terminada.

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Generalidades

Para la realización de la programación de las actividades de mantenimiento de una máquina, equipo o pieza en particular, es necesario contar previamente con el listado de partes del equipo, el detalle de actividades de mantenimiento a realizar en cada parte, así como la frecuencia en tiempo con la cual debe realizarse dicha actividad para cada pieza, parte o equipo. (Ver sección 1.4.4).

Como trabajo de graduación, para los equipos de pavimentación con concreto hidráulico en carreteras de primer orden en Guatemala, se realizó en el capítulo III, la descripción de los consumibles, partes y equipos utilizados en el proceso de pavimentación, estableciendo en cada caso las actividades de mantenimiento *in situ* a realizar en cada una de las partes y equipos.

A continuación se presentará, inicialmente las fallas comunes detectadas en los equipos, posteriormente el resumen de las actividades de mantenimiento *in situ* y la frecuencia con las que estas deben realizarse, así como las políticas de decisión respecto a la realización de estas actividades.

4.2. Fallas comunes en equipos de pavimentación

Dentro de las fallas críticas de los equipos de pavimentación podrían mencionarse por su importancia aquellas que tengan como consecuencia el

traslado del equipo para un posterior mantenimiento correctivo, derivado de la falla en el equipo y que no es posible rehabilitarlo *In situ*.

Para clasificar si una falla es crítica o no, se hace tomando como base sí:

- Implica su traslado a taller para un mantenimiento correctivo
- Representa una muerte en el proceso de pavimentación
- No se tiene forma de corregirla *in situ*

A continuación se describen los equipos primarios y secundarios que, por su importancia deben ser considerados susceptibles de fallas críticas durante el procedimiento de pavimentación.

4.2.1. Equipo primario

Cualquier posible falla en el equipo primario se identifica *in situ* con una actividad de análisis VOSO, esto como parte del mantenimiento preventivo de este tipo. Dentro de las fallas críticas del equipo primario están:

- Calibración de sensores.
- Vibración inusual en tornamesa de alisado.
- Arranque o funcionalidad irregular del motor diesel que proporciona la movilidad y desplazamiento mecánico a la máquina pavimentadora.

4.2.1.1. Calibración de sensores

Una falla de calibración de sensores en el proceso de pavimentación, implica desbalance en el consumo de materiales, en este caso de concreto hidráulico debido a que los sensores controlan el espesor de la carpeta de concreto dentro de cierto margen, y si esta no es uniforme, representará costos y deficiencias de calidad en la aplicación del concreto, y finalmente en el producto terminado.

4.2.1.2. Vibración en tornamesa de alisado

La tornamesa de alisado se mueve a través de tuberías de presión de fluido hidráulico, si esta presenta problemas de vibración, su mal funcionamiento dará lecturas erróneas de sensores de colocación de pavimento y el alisado de la carpeta de concreto. Si esta falla por vibración, su reparación implicará el traslado de la máquina hacia el taller o planta de servicio.

4.2.1.3. Arranque o funcionalidad de motor diesel

Los equipos primarios obtienen su movilidad utilizando motores diésel convencionales como una de las partes del equipo. Si el motor no arranca o tiene un funcionamiento inadecuado implica que el equipo no puede moverse, siendo esta una de las funciones principales que debe tener el equipo primario (pavimentadora y texturizadora), desplazarse mientras coloca la carpeta de concreto, o mientras realiza el texturizado.

4.2.1.4. Peineta de texturizado

Su función es la de aplicar la textura final sobre la carpeta de concreto, normalmente su falla se manifiesta con una textura insuficiente o sin profundidad como consecuencia de la pérdida o desgaste de los dientes en la peineta, siendo lo anterior producto del constante contacto con fluidos y desgaste provocado por los agregados empleados y otros agentes con reacción química que acelera su desgaste.

4.2.2. Equipo secundario

Los equipos secundarios cuya falla se puede clasificar como crítica, es la de aquellos que sean relevantes en el proceso de pavimentación o en las actividades de mantenimiento *in situ*, pudiendo mencionar los siguientes:

- Hidrolavadora
- Cortadora de concreto

4.2.2.1. Hidrolavadora

Debe considerarse que la actividad principal del mantenimiento preventivo *in situ*, es la limpieza de las piezas que tienen contacto con el concreto y los distintos fluidos que a este se aplican; es por esta razón que los operadores sugieren tener como mínimo 2 hidrolavadoras *in situ* a fin de asegurar la realización de esta actividad. De aquí que la hidrolavadora, a pesar de ser un equipo secundario, represente un equipo crítico en las actividades de pavimentación.

4.2.2.2. Cortadora de concreto

La cortadora de concreto utiliza, generalmente discos de diamante, si estos se fracturan durante su operación, esto implicará su reemplazo inmediato, por tal motivo, si no se dispone de un repuesto, este puede representar en determinado momento un componente crítico.

4.2.3. Resumen de componentes críticos

Considerando la descripción anterior de los equipos y sus componentes críticos, estos se clasifican como se muestra en la tabla XIV.

- A = altamente crítico
- B = medianamente crítico
- C = crítico

Tabla XIV. **Clasificación de los componentes críticos de los equipos de pavimentación**

EQUIPO	PARTE	SUBPARTE	TIPO A	TIPO B	TIPO C
Primario	Pavimentadora	Sensores	X		
		Tornamesa de alisado	X		
		Motor diesel de máquina	X		
	Texturizadora	Peineta			X

Continuación de la tabla XIV.

Secundario	Hidro lavadora	Mangueras	X		
		Motor de 2 tiempos	X		
	Cortadora de concreto	Discos de diamante			X
		Motor de 2 tiempos			X

Fuente: elaboración propia.

4.3. Tipo de mantenimiento para los principales equipos empleados en el proceso de pavimentación

El tipo de mantenimiento *in situ* a realizar en las máquinas, equipos y partes utilizadas en procesos de pavimentación con concreto hidráulico en carreteras de primer orden en Guatemala, por ser actividades a realizar en campo y en lugares fuera de áreas o regiones pobladas, se resume en este caso particular a realizar las actividades siguientes:

- Limpieza
- Ajustes
- Revisión constante de componentes implicados
- Cambio de consumibles (filtros, acoples, mangueras)
- Lubricación

Realizar actividades de mayor complejidad se reserva para su realización en planta como parte de un mantenimiento mayor, considerando que, normalmente es necesario tener herramienta específica, partes de recambio que no necesariamente son trasladadas a campo, y equipos de calibración.

El objetivo de realizar una programación de actividades de mantenimiento *in situ*, es asegurar la disponibilidad de los equipos, reducir las muertas, reducir el desgaste de piezas, mejorar la vida útil de los equipos, y en general, que esta actividad represente un apoyo que busque reducir las actividades de mantenimiento mayor en planta de forma correctiva y los costos que esto implica.

4.4. Modelo de programación y su periodicidad para la realización del mantenimiento *in situ* para los equipos de pavimentación

Con la finalidad de establecer de forma breve y ordenada las actividades de mantenimiento *in situ* propuestos en el presente trabajo de graduación, se realiza una tabla a fin de establecer la frecuencia en que debe realizarse dicha actividad como se muestra en la tabla XV, a continuación:

Tabla XV. **Modelo de programación de actividades de mantenimiento *in situ* para equipos utilizados en procesos de pavimentación**

DESCRIPCION	MODELO/SERIE	COMPONENTES DEL MANTENIMIENTO		TIPO DE MANTENIMIENTO	PERIODO SUGERIDO PARA REALIZACION	
		In-situ	Planta de Distribución		In-situ	Planta de Distribución
EQUIPO PRIMARIO Pavimentadora o esparcidora de concreto	Terex SF3502B	A, B, D	E	PREVENTIVO	Final de jornada de Trabajo o pasados 20 min de operación	3000 hrs
Texturizadora de Superficie	Terex Bio-Well TC 360	A, C, D	E	PREVENTIVO	Final de jornada de Trabajo o pasados 20 min de operación	3000 hrs
EQUIPO SECUNDARIO						
Mini Cargador frontal	CATERPILLAR 252B	A, D	E	PREVENTIVO	24 hrs	2000 hrs
Vibradores de Concreto	WACKER NEUSON A5000	A, D	E	PREVENTIVO	50 hrs	1000 hrs
Cortadora de Concreto	WACKER NEUSON BSF 1345A	A, D	E	PREVENTIVO	24 hrs	800 hrs
Hidrolavadora de alta presión	WACKER NEUSON PT6LT	A, D	E	PREVENTIVO	50 hrs	800 hrs
OTROS EQUIPOS						
Vibro compactador manual	WACKER NEUSON BS60-2I	A, D	E	PREVENTIVO	150 hrs	500 hrs
Retro excavadora	CATERPILLAR 420E	A, D	E	PREVENTIVO	50 hrs	2000 hrs
Moto niveladora	CATERPILLAR 140H	A, D	E	PREVENTIVO	50 hrs	2000 hrs
Vibro compactador neumático con control para operador	CATERPILLAR CB22	A, D	E	PREVENTIVO	50 hrs	2000 hrs

NOTA: El periodo sugerido para la realización del mantenimiento *in-situ* es el sugerido directamente por los usuarios de los equipos durante la ejecución de los trabajos de pavimentación.

CLASIFICACION DE COMPONENTES DE MANTENIMIENTO :

- A: Revisión de niveles de lubricantes, mangueras, acoples,
- B: Limpieza constante de eje o caracol de esparcido de concreto
- C: Limpieza y desbloqueo de ductos de aspersión.
- D: Revisión, limpieza, reemplazo de filtros de combustible, aire y sistema hidráulico.
- E: Revisión general de funcionalidad y deterioro de maquinaria y equipos, Calibración de sensores, reemplazo de todo tipo de componentes

Fuente: elaboración propia.

4.5. Políticas de decisión respecto al mantenimiento a realizar

Dentro de las políticas de decisión está el solicitar al proveedor de los equipos la autorización para la realización de las actividades de mantenimiento *in situ*, considerando los beneficios para el usuario y proveedor que las actividades tienen para:

- Reducir costos de mantenimiento correctivo mayor
- Mejorar la vida útil de los equipos
- Mejorar la disponibilidad
- Reducir las muertas

De preferencia que el proveedor de los equipos facilite un paquete de consumibles de uso en estas actividades a los operadores de los equipos, a fin de evitar la fatiga o deterioro de sus equipos por trabajar con filtros sucios, fugas en tuberías, alto consumo de combustible por filtros sucios, desgaste de piezas por falta de lubricación, entre otras.

Realizar capacitaciones previas sobre el uso correcto de los equipos de pavimentación y cómo identificar si el equipo está próximo a fallar, realizando algún análisis VOSO, tanto para operadores como para supervisores en el proyecto.

Otra política de decisión puede ser la de contar con un técnico de forma permanente en campo para realizar los mantenimientos propuestos *in situ* según la programación sugerida para estas actividades.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los datos utilizados para el estudio representan una muestra reducida, considerando que son equipos que se utilizan en un método constructivo de pavimentación de uso reciente en Guatemala, razón por la cual, la técnica de investigación que se utilizó para generar conclusiones es por observación, en campo y por entrevista, considerando que las entrevistas se utilizan cuando el universo de datos es reducido.

5.1. Plan de mantenimiento preventivo de los equipos

Las principales actividades a realizar en el mantenimiento preventivo *in situ* de equipos de pavimentación se resumen a:

- Limpieza de piezas en contacto con agentes abrasivos del concreto
- Revisión de nivel de lubricante
- Engrasado
- Revisión de fugas en acoples y mangueras
- Cambio de consumibles (filtros, mangueras, conectores)
- Análisis VOSO (inspección general)

Las actividades del plan se determinaron con base en datos generados en el presente estudio, quedando su implementación bajo previa autorización de proveedores por políticas de uso, manejo y mantenimiento de equipos.

Los equipos de pavimentación se clasificaron como:

- Primarios
- Secundarios
- Otros

La clasificación de los equipos se realizó considerando características y su impacto en los tiempos muertos o de vacío en actividades de pavimentación en caso de presentarse alguna falla en los equipos.

La frecuencia de las actividades considera a los equipos trabajando en periodos de tiempo de uso continuo entre 8 a 10 horas, detalle que generalmente no es especificado o considerado en catálogos de fabricante o manuales de usuario.

Debe considerarse que cualquier equipo sometido a un alta demanda o uso continuo presenta de forma prematura fallas por fatiga en sus partes o componentes causadas por aumento de temperatura, vibración, etc.

El plan de mantenimiento *in situ* propuesto describe actividades que buscan reducir la exposición del personal de campo en accidentes por equipos susceptibles a falla, realizando simples rutinas de mantenimiento *in situ*.

Cuando la falla de un equipo genera una reducción de velocidad en la ejecución de actividades de pavimentación, recuperar el tiempo perdido requiere utilizar los equipos de forma continua y que la mano de obra trabaje bajo presión.

5.2. Componentes críticos de los equipos

Los componentes críticos para el mantenimiento preventivo *in situ* de los equipos de pavimentación se clasificaron como:

- A = altamente crítico
- B = medianamente crítico
- C = crítico

La clasificación fue resultado de la información obtenida en campo sobre los registros de falla que se tienen de experiencias previas con los equipos, estas fueron compartidas por ingenieros supervisores y operadores desde sus inicios en el país en el 2006 a marzo de 2014.

La clasificación por grado crítico de los componentes de los equipos, al igual que la clasificación de los equipos (primario, secundario y otros), considera la magnitud del impacto en tiempos muertos para actividades de pavimentación que genera la falla en cada uno de los componentes.

CONCLUSIONES

1. Se establece una estructura de mantenimiento que clasifica los equipos, partes y sub-partes básicos, define las actividades de mantenimiento a realizar y la frecuencia de realización de las actividades; el mantenimiento preventivo *in situ* considera únicamente actividades que incluyan el recambio de consumibles, análisis VOSO de equipos, limpieza, lubricación y revisión de niveles de lubricantes, que no impliquen el uso de herramienta o aparatos de medición o calibración complejos.
2. Las mudas en el proceso de pavimentación de carreteras de primer orden con concreto hidráulico, corresponden a interrupciones o paros totales en el desarrollo programado de actividades en el proceso de pavimentación como consecuencia de fallas de equipos y componentes críticos, representando pérdidas de materiales y tiempo de ejecución de obra, elevando el costo final.
3. Los catálogos de fabricante recomiendan realizar mantenimientos de los equipos basándose en una programación de actividades por lectura (por ejemplo, cada 5 000 horas, o cada 10 000 kilómetros recorridos, lo que pase primero) en condiciones ideales de operación, no especificando el mantenimiento basado en los periodos de uso continuo de los equipos, por lo cual es importante considerarlo en la ejecución de cualquier obra de pavimentación debido a que se tienen registros de que el uso continuo ha causado falla de los equipos.

4. Los equipos críticos en procesos de pavimentación son los que están clasificados en nivel crítico A, los cuales corresponden a la pavimentadora, texturizadora e hidro lavadora, estableciendo como componentes críticos de equipos primarios, los sensores de nivel encargados de la medición del ancho y espesor de la carpeta de concreto, y la tornamesa de alisado que nivela y aplica los fluidos superficiales que proporcionan el acabado final de la carpeta.

RECOMENDACIONES

1. Las MUDAS, en los procesos de pavimentación con concreto hidráulico en carreteras de primer orden pueden reducirse realizando, como parte de un mantenimiento preventivo *in situ* las actividades descritas en el trabajo de graduación.
2. Un plan de mantenimiento *in situ* debe considerar el realizar actividades de limpieza al inicio y final de cada jornada de trabajo, recambio de consumibles (filtros, acoples, lubricantes) y un análisis VOSO de los equipos, notificando a los proveedores en caso de tener alguna condición anormal.
3. Es conveniente invertir en un mantenimiento preventivo *in situ* a los equipos de pavimentación, que realizar el traslado de estos en estado críticos al taller de mantenimiento para la realización de un mantenimiento correctivo, por esperar a que este falle totalmente, causando paros en los procesos.
4. La guía de mantenimiento *in situ* propuesta, se sugiere como una alternativa a implementar, ya que busca reducir los paros en las actividades de pavimentación, los costos finales de las obras y aumentar la vida útil de los equipos, los cuales, al tener contacto con los agentes químicos del concreto pueden tener fallas que afecten el desarrollo programado de las actividades y la entrega a tiempo de las obras terminadas.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACKROYD, M.E. *Mantenimiento predictivo industrial. Ingeniería metalúrgica*. Universidad de Chile. 2009. 64p.
2. ALTMANN, C. *El análisis de causa raíz como herramienta en la mejora de la confiabilidad*. [en línea] www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/causaraizaltmann.pdf. [Consulta: agosto de 2013].
3. CALLONI, J.C. *Mantenimiento preventivo para máquinas, equipos e instalaciones eléctricas y civiles*. Argentina: Alsina. 1984. 313p.
4. Caterpillar. *Manual de operación y mantenimiento. Retroexcavadora 320D*. [en línea] www.maquinaspesadas.org. [Consulta: 2 de junio de 2013].
5. Cerarapids (s.f). *Operation maintenance manual*. A Terex Company. [en línea] <http://www.stephensonequipment.com/equipment-manuals/category/2-cedarapids-manuals>. [Consulta: 18 de febrero 2014].

6. Conceptos generales (s.f). *Mantenimiento autónomo, mantenimiento preventivo como parte del mantenimiento productivo total*. [en línea] www.solomantenimiento.com/articulos/mantenimiento-autonomo.htm. [Consulta: 15 de enero de 2014].
7. CORONADO. J. (2002). *Manual centroamericano para el diseño de pavimentos*. (p. XVII). Secretaría de Integración Económica Centroamericana. SIECA [en línea] <http://www.camineros.com/docs/cam060.pdf>. [Consulta: 2 de febrero de 2013]. 106 p.
8. Dirección General de Caminos. *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*. Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y vivienda. Guatemala: MICIVI, 2001.
9. _____Ingenieros Consultores de Centro América, S. A., *Especificaciones generales para construcción carreteras y puentes*. Guatemala: MICIVI, 2001
10. LINARES, O. *Tribología y mantenimiento proactivo*. Widman Internacional: Bolivia. [en línea] <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/histrib.pdf>. [Consulta: 20 de noviembre de 2013]. 10p.

11. LÓPEZ, J.R. *Programa de mantenimiento preventivo en los equipos de Lancasco*. Trabajo de graduación de Ingeniero Mecánico. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. [en línea] http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0721_M.pdf. [Consulta: mayo de 2013]. 71p.
12. Normas APA. *Plantilla en word de tesis con Norma APA 2014*. [en línea] <http://normasapa.com/2014/descargar-plantilla-en-word-de-tesis-con-normas-apa-2014/>. [Consulta: 22 de agosto 2014].
13. QUIJADA, L.F. (). *Seguimiento del comportamiento de los principales pavimentos construidos con el método constructivo de losas cortas*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 2012. 100p.
14. Renove Tecnología. (2009-2014). *Software de mantenimiento gratuito PMX PRO vs RENOVEFREE*. Madrid. [en línea] <http://www.renovetec.com/index.php/mantenimiento-industrial/307-software-de-mantenimiento-gratuito-pmx-pro>. [Consulta: 22 Marzo 2014].
15. Revolorio, E.A. (2004). *Implementación de un programa de mantenimiento predictivo para maquinaria industrial de una embotelladora*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos. Guatemala. Guatemala (ciudad). Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0433_M.pdf.

16. Rico Europe Terex Parts Filters. *Características de filtros para equipos TEREX*. [en línea] <http://ricoeurope.com/293-terex-filters/>. [Consulta: 2 de junio de 2013].
17. ROMÁN, L.R. (2008). *Método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico* (Tesis de Maestría). Universidad de San Carlos. Guatemala. Guatemala (ciudad). [en línea] http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0167_MT.pdf
18. _____. *Supervisión rehabilitación CA-1 occidente*. Guatemala. 2006.
19. Society of Tribologist and Lubrication Engineers. *La tribología: práctica diaria en la industria*. [en línea] http://www.conservaenergia.com/empresas/asociaciones/STLE/para_que_tribologia.htm. [Consulta: 8 de junio 2013].
20. Técnica Aplicada Internacional. MPsoftware. *Software para control y administración del mantenimiento, CMMS*. Delta Suministros Industriales. [en línea] http://www.mpsoftware.com.mx/software_mantenimiento/distribuidor_GT.html. [Consulta: 30 de mayo de 2013].
21. Terex (2008). Terex Corporation. *Texture / cure machine*. [en línea] http://www.terex.com/construction/en/idc03/groups/webcontent/@web/@con/documents/web_content/ucm03_047666.pdf. [Consulta: 2 de enero de 2013].

22. TORRES, S. (2012). *La cita y referencia bibliográfica: guía basada en las normas APA*. Biblioteca Central UCES. [en línea]. <http://www.uces.edu.ar/biblioteca/citas-bibliograficas-APA-2012.pdf>. [Consulta: 22 de noviembre de 2013]. 26p.

APÉNDICES

Apéndice A. Pavimentadora Terex SF3502B

La máquina pavimentadora corresponde al modelo SF3502B descrito en la figura en proceso de alisado. Es una extendedora de concreto de medio rango para construcción en carreteras, industria y aeropuertos.

Tiene un diseño de alta producción de capacidad superiores de pavimentación de dos vías y un rendimiento sin igual en tamaño y clase.

Establece el estándar de la industria para la suavidad PL o IRI (índice de rugosidad internacional), (Traducción libre).

SF3502B

TWO-TRACK CONCRETE SLIPFORM PAVER



FEATURES

- "Mid-Range" Class slipform paver for highway, industrial and airport concrete construction.
- Versatile, high-production two track design provides superior paving capabilities and performance unmatched in its size and class.
- Sets the Industry Standard for ride smoothness - PL or IRI



Increased visibility of slab behind paver.

• 2 •

Fuente: Terex Corporation, 2008.

Apéndice A-1. **Características de la Pavimentadora TEREX SF3502B**

INFORMACIÓN GENERAL	SF3502B
Fabricante	Terex
Modelo Año	2012
Modelo	SF3502B
MSRP	Solicitar un presupuesto
DIMENSIONES	
Largo	15 pies 2.5 pulg (4.63 m)
Altura	10 pies 9 pulg (3.28m)
Ancho	12 pies (3.66 m) como mínimo
Tracks	13.8 pulg (350 mm)
Peso	47,000 libras (21.319 kg) de transporte
MOTOR Y TRANSMISIÓN	
Motor Marca	Caterpillar
Modelo del motor	C-9
Caballos de Fuerza	350 hp (260 kW)
Desplazamiento	537 pulg
Bore	4.41 pulg (112 mm)
Carrera	5.37 pulg (149 mm)
Combustible	Diesel
Capacidad del Tanque de combustible	180 gal. (681 litros)
PAVIMENTACIÓN	
Orugas o ruedas	Orugas
Anchura de pavimentación	12-24 pies (3.6-7.3 m)
OPERATIVO	
Velocidad de pavimentación	0-35 ppm (0-10.7 mpm)
Velocidad de desplazamiento	0-83 ppm (0-25 mpm)

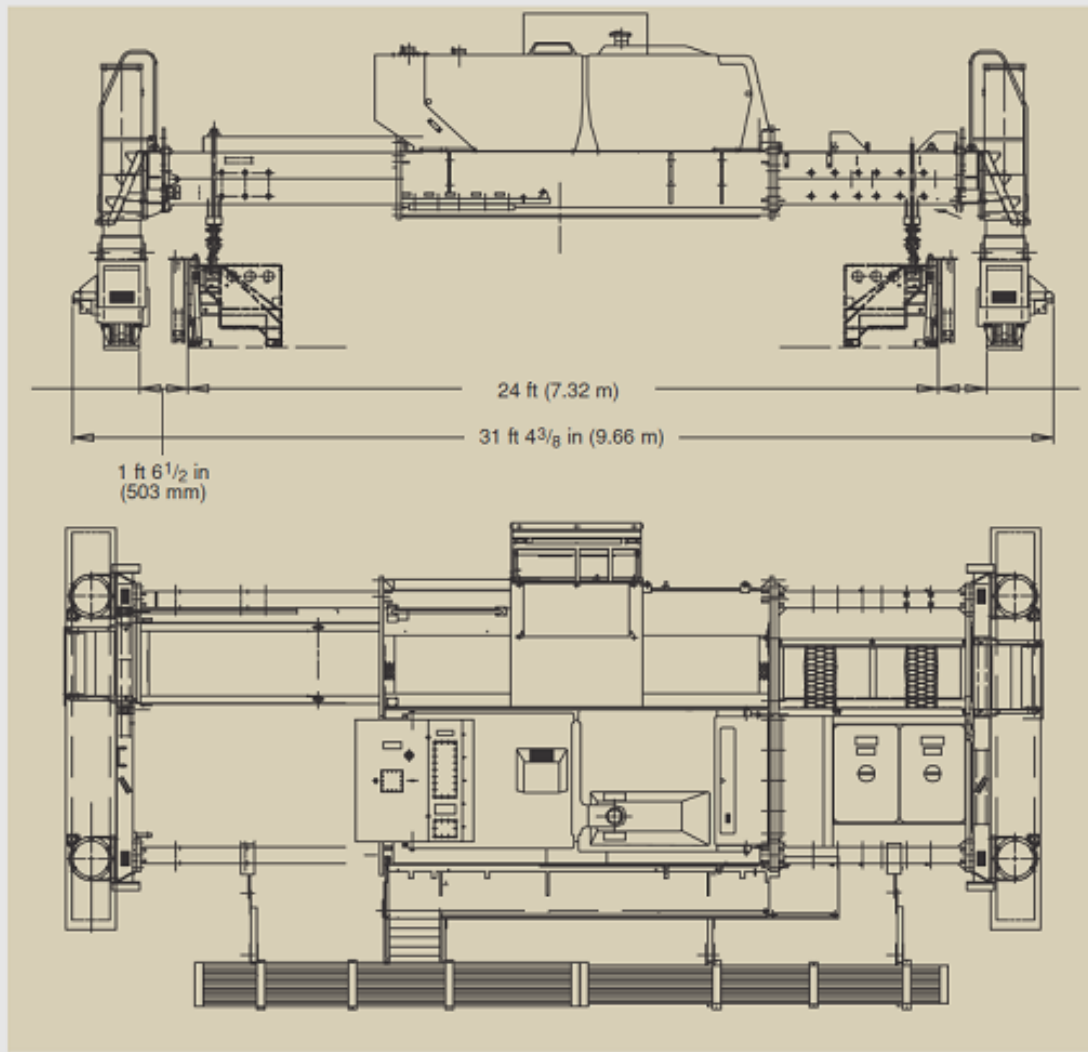
Fuente: <http://www.hvequipment.com>, 2013.

Los datos de la tabla del apéndice B corresponden a una traducción libre sobre las características de la Pavimentadora TEREX disponibles en la página web descrita en la fuente.

Apéndice A-2. Dimensiones de la pavimentadora TEREX SF3502B

SF3502B




SF3502B DIMENSIONS



Fuente: Terex Corporation, 2008.

Apéndice B. Modelos de Texturizadoras TEREX

Corresponde a equipos que se utilizan para realizar el texturizado de la carpeta de concreto hidráulico.

2450	3600	4800
Pavimentadora de carreteras y puentes Ancho: 8 pies (2,4m)-56 pies (17,1m) Profundidad: 24 pulg. (61 cm)	Pavimentadora de carreteras y puentes Ancho: 8 pies (2.4m)-86 pies (26.2m) Profundidad: 36 pulg. (91 cm)	Pavimentadora de carreteras y puentes Ancho: 8 pies (2.4m)-116 pies (35,4m) Profundidad: 46 pulg. (122 cm)
		



<p>5000</p> <p>Pavimentadora de vías rápidas y aeropuertos</p> <p>Ancho: 12 pies (3,6m)-68 pies (20,7m)</p> <p>Profundidad: 48 pulg. (122 cm)</p> 	<p>6500</p> <p>Pavimentadora de vías rápidas y aeropuertos</p> <p>Ancho: 12 pies (3,6m)-66 pies (20,1m)</p> <p>Profundidad mínima de excavación</p> 
--	---

Fuente: adaptado de Terex corporation, 2008.

Apéndice B-1. **Características de Texturizadora TEREX Bid-Well TC-360**

La Terex Bid-Well TC360 máquina de textura/curado, cuenta con paneles de control amigables para el operador, un motor fácilmente visible y medidores operativos. Ofrece texturizado longitudinal con un lanzamiento de peine ajustable hidráulicamente. Su curado transversal permite la textura y la operación simultánea de textura y curado.

Sistema de distribución compuesto de curado de 300 gal/1135 L de capacidad de almacenamiento/depósito de circulación. Una velocidad variable y presión variable de la bomba hidráulica para la pulverización, carga, descarga y agitación con chorro continuo.

El sistema incluye la filtración, puertos de limpieza hacia fuera y medidores de presión de supervisión.

Aplicación proporcionada por la barra de pulverización de montaje trasero con capucha eólica, hidráulica (plegable) mecanismo de elevación, boquillas antigoteo y boquillas de pulverización de bordes laterales.

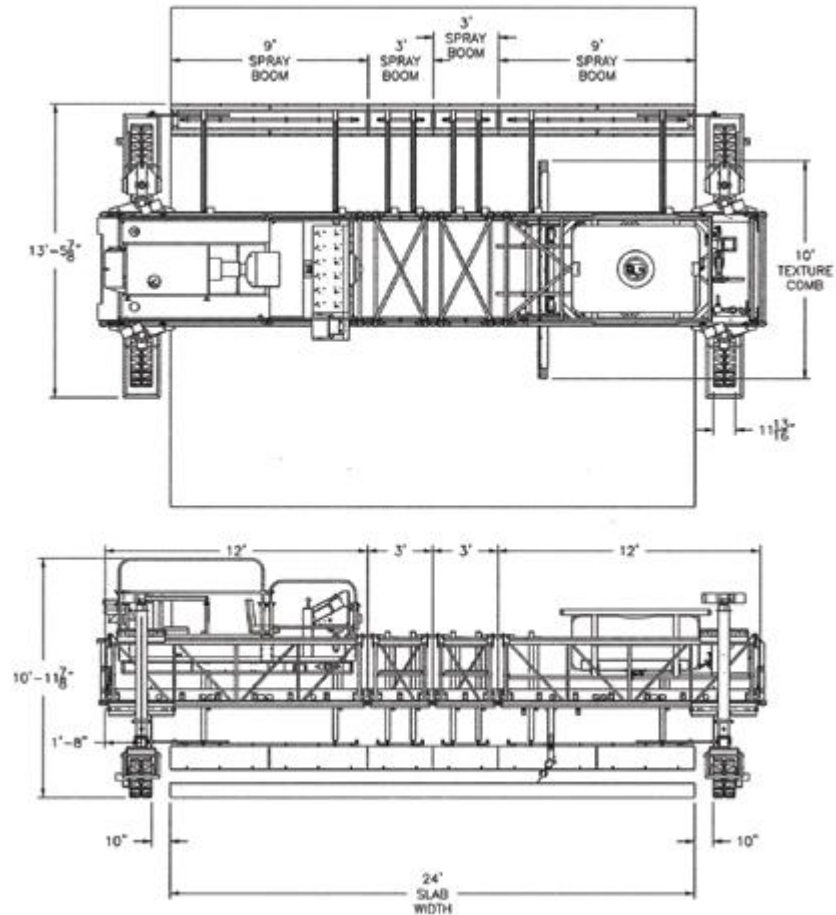
Dos barras de pulverización 9 pies / 2,74 m y dos secciones en el capó de 3 pies / 0,91 m secciones de 18 pies a 24 pies / 5,5 a 7,32 m de ancho de pavimentación. (Terex bid-well, 2008).

Apéndice B-2. Especificaciones de Texturizadora TEREX Bid-Well TC-360

<p>MOTOR Estándar: motor diésel Peso en seco: 184 libras / 83,4 kg Caballos de fuerza bruta a 3.000 rpm 55 hp/41 kw Enfriamiento: líquido Filtración: Un filtro de aspiración Dos filtros de alta presión CHASIS DE LA MÁQUINA Profundidad Truss 36 pulg / 1,2 m Longitud estándar de la máquina 30 pies / 9,14 m Dos secciones 12 pies / 3,6 m Dos secciones 3 pies / 0,91 m Longitud mínima de máquina 24 pies / 7,35 m Longitud máxima de máquina 60 pies / 18,3 m</p>	<p>HIDRÁULICA BOMBAS: Presión compensada 26,6 gpm / 100,7 lpm Bombas de doble engranajes 42,1 gpm / 159,3 lpm Aire forzado enfriador de aceite hidráulico CURADO: Sistema de distribución compuesto de curado incluye: <ul style="list-style-type: none"> • 300 gal / 1.135 L tanque ovalado de circulación de almacenamiento. • Una velocidad variable y bomba de presión hidráulica variable para aspersión, carga y descarga, y chorro continuo. </p>
<p>SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE ORUGAS Cuatro pistas impulsadas y accionadas hidráulicamente. Ancho 11.8 in / 30 cm Largo 48 in / 1,2 m Control de velocidad variable de hasta 130 pies por minuto / 39.6 mpm adelante y reversa.</p>	<p>TEXTURIZADO Transversal: Desplazamiento de pista móvil con ajuste independiente colocado en la máquina, unidad de miembro central inferior, proporcionando una corona independiente y control de la pendiente de la cabeza de texturización para que coincida con el perfil del pavimento. <ul style="list-style-type: none"> • Opcional: Texturizado longitudinal hidráulico controlado con el operador. </p>

Fuente: adaptado de Terex corporation, 2008

Apéndice B-3. Dimensiones del equipo TEREX Bid-Well TC-360



Fuente: www.bid-well.com, 2013.

La Terex Bid-Well TC-360 ofrece una textura / curado completo, solución para su gran trabajo de pavimento de concreto. Ya sea que su fuerte sea una autopista, el aeropuerto o la pavimentación de carreteras, independiente seguido por Terex Bid-Well 6500 o una extendidora de encofrado deslizante Terex SF3504B, la TC-360 le proporciona especificaciones como un medio para terminar su trabajo. (Terex bid-well, 2008). (Traducción libre).