

# UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



## **Diseño del sistema de mantenimiento mecánico preventivo para una empresa constructora**

Trabajo de graduación presentado por Julio Fernando Fong Gálvez  
para optar al título de Licenciado en Ingeniería Mecánica

Guatemala  
2010



**Diseño del sistema de mantenimiento  
mecánico preventivo para una empresa  
constructora**

# UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

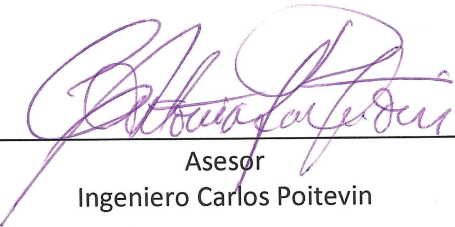


## **Diseño del sistema de mantenimiento mecánico preventivo para una empresa constructora**

Trabajo de graduación presentado por Julio Fernando Fong Gálvez  
para optar al título de Licenciado en Ingeniería Mecánica

Guatemala  
2010

Vo. Bo.:

(f)   
Asesor  
Ingeniero Carlos Poitevin

Tribunal examinador:

(f)   
Ingeniero Víctor Hugo Ayerdi

(f)   
Ingeniero Diego Zaparolli

(f)   
Ingeniero Carlos Poitevin

Fecha de aprobación: Guatemala, 09 de diciembre de 2010

## **PREFACIO**

Este trabajo de graduación supone una propuesta para el progreso y expansión de una empresa constructora. Nace de las necesidades operativas de la organización, tanto las internas como las externas (impuestas por el mercado). El desarrollo de la propuesta es congruente con estas necesidades para que de esta forma se presente el sistema idóneo según la situación.

Agradezco profundamente a Dios y a las personas que colaboraron con información, experiencia e ideas acerca de los temas tratados y que hicieron posible la terminación de este trabajo.

# CONTENIDO

Prefacio	v	
Lista de figuras	ix	
Lista de fotografías	ix	
Resumen	x	
Capítulos		
<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>2</b>
	<b>A. Generales</b>	<b>2</b>
	<b>B. Específicos</b>	<b>2</b>
<b>III.</b>	<b>ANTECEDENTES</b>	<b>3</b>
	<b>A. El mantenimiento y su historia</b>	<b>3</b>
	<b>1. Primera generación</b>	<b>3</b>
	<b>2. Segunda generación</b>	<b>3</b>
	<b>3. Tercera generación</b>	<b>4</b>
	<b>4. Cuarta generación</b>	<b>5</b>
	<b>B. Sistemas de mantenimiento</b>	<b>5</b>
	<b>1. Planeación</b>	<b>6</b>
	<b>a. Filosofía del mantenimiento</b>	<b>6</b>
	<b>b. Pronóstico de la carga</b>	<b>7</b>
	<b>c. Capacidad de mantenimiento</b>	<b>8</b>
	<b>d. Organización del mantenimiento</b>	<b>8</b>
	<b>e. Programación del mantenimiento</b>	<b>8</b>
	<b>2. Organización</b>	<b>9</b>
	<b>a. Diseño del trabajo</b>	<b>9</b>
	<b>b. Estándares de tiempo</b>	<b>9</b>
	<b>c. Administración de proyectos</b>	<b>9</b>
	<b>3. Control</b>	<b>9</b>
	<b>a. Control de trabajos</b>	<b>9</b>
	<b>1) Órdenes de trabajo</b>	<b>10</b>
	<b>2) Registro histórico del equipo</b>	<b>10</b>
	<b>3) Tarjeta de reporte</b>	<b>10</b>
	<b>4) Informe de trabajos pendientes</b>	<b>10</b>
	<b>b. Control de inventarios</b>	<b>11</b>
	<b>c. Control de costos</b>	<b>11</b>
	<b>d. Control de calidad</b>	<b>16</b>
	<b>C. Formulaciones científicas del mantenimiento</b>	<b>16</b>
	<b>1. Confiabilidad</b>	<b>16</b>
	<b>2. Disponibilidad</b>	<b>16</b>

	3.Mantenibilidad	16
	4.Curvas de Weibull	17
D.	Tipos de mantenimiento	18
	1.Mantenimiento correctivo	19
	a. Mantenimiento correctivo no planificado	19
	b. Mantenimiento correctivo planificado	19
	2.Mantenimiento preventivo	20
	3.Mantenimiento predictivo	20
	4.Mantenimiento proactivo	20
E.	Maquinaria de construcción	21
F.	Vibradores internos modulares	23
	1.Estructura	23
	2.Operación	26
	3.Costo de un vibrador interno modular	27
E.	Empresa constructora	27
	1.Tipos de sitios	28
	2.Presencia en la región	29
	3.Maquinaria	29
	4.Operaciones	30
	5.Activos existentes	30
	6.Planes de expansión	30
IV.	JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE DEL TRABAJO	31
V.	PROPUESTA DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO	32
A.	Misión	32
B.	Objetivos	32
C.	Funciones	32
D.	Organización del departamento de mantenimiento	33
E.	Descripción de los puestos de trabajo	35
	1.Gerente de mantenimiento	35
	2.Asistente Gerente de mantenimiento	36
	3.Encargado de compras	37
	4.Planificador y programador de mantenimiento	39
	5.Supervisor del mantenimiento	40
	6.Mecánico de mantenimiento	41
	7.Encargado de bodega	42
	8.Operario	43
F.	Costos del departamento de mantenimiento	44
	1.Activos existentes	44
	2.Costos del departamento	45
	3.Costos actuales del mantenimiento realizado por terceras Partes (outsourcing)	49
	4.Costos totales del mantenimiento luego de la expansión (si éste ser realizara por medio de outsourcing)	44
G.	Métodos de Control del Departamento	49

<b>1.</b>	<b>Control del equipo</b>	50
<b>a.</b>	Codificación del equipo	50
<b>b.</b>	Listado maestro de equipos	51
<b>c.</b>	Tarjeta individual del equipo	52
<b>d.</b>	Archivo histórico del equipo	52
<b>2.</b>	<b>Control del trabajo</b>	54
<b>a.</b>	Órdenes de trabajo	54
<b>1)</b>	Flujo de la OT	56
<b>b.</b>	Tarjeta de registro de actividades	58
<b>c.</b>	Reporte de trabajos pendientes	59
<b>d.</b>	Tarjeta de tiempos	59
<b>e.</b>	Estimación de tiempos	62
<b>f.</b>	Listas de verificación	62
<b>3.</b>	<b>Control de inventarios</b>	64
<b>a.</b>	Listado de piezas	64
<b>b.</b>	Salida de materiales (MR)	67
<b>4.</b>	<b>Parámetros de medición del desempeño (estadísticas)</b>	68
<b>a.</b>	Administración del mantenimiento	68
<b>b.</b>	Eficacia del mantenimiento	69
<b>c.</b>	Costos de mantenimiento	70
<b>VI.</b>	<b>PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA VIBRADORES MODULARES INTERNOS</b>	72
<b>A.</b>	<b>Actividades</b>	72
<b>1.</b>	Inspecciones	72
<b>2.</b>	Actividades de mantenimiento	73
<b>3.</b>	Rutinas	75
<b>4.</b>	Registro y análisis de fallas	75
<b>VII.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	76
<b>VIII.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	77
<b>IX.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	78
<b>X.</b>	<b>APÉNDICE</b>	79

## LISTA DE FIGURAS

Figura No. 1 Sistema de mantenimiento	6
Figura No. 2 Función del pronóstico de carga en un sistema de mantenimiento	7
Figura No. 3 Diagrama de Pareto	13
Figura No. 4 Diagrama de nivel de Reorden	14
Figura No. 5 Modelo de costo de inventarios	15
Figura No. 6 Conceptos científicos del mantenimiento	17
Figura No. 7 Curva de la bañera y ecuación de Weibull	17
Figura No. 8 Clasificación del mantenimiento según norma EN-133306	18
Figura No. 9 Clasificación del mantenimiento según norma AFNOR 60-10	19
Figura No. 10 Esquema básico de un vibrador modular interno y sus elementos principales	23
Figura No. 11 Esquema básico del accionamiento	24
Figura No. 12 Esquema básico del árbol flexible	25
Figura No. 13 Esquema básico del cabezal vibrador	25
Figura No. 14 Modo de empleo de un vibrador modular interno	27
Figura No. 15 Tabla de costos de un vibrador interno modular	27
Figura No. 16 Organigrama propuesto para el departamento de mantenimiento	34
Figura No. 17 Organigrama propuesto para el depto. de mantenimiento dentro de la empresa	34
Figura No. 18 Datos de vibradores internos modulares	44
Figura No. 19 Datos de vehículos	44
Figura No. 20 Resumen de costos del departamento de mantenimiento	45
Figura No. 21 Costos del mantenimiento de los vibradores internos modulares	45
Figura No. 22 Costos del mantenimiento de los camiones con capacidad de 1 tonelada	46
Figura No. 23 Costo del mantenimiento de los camiones con capacidad para 2.5 tons	47
Figura No. 24 Costos del mantenimiento de las camionetas tipo Pick-Up	48
Figura No. 25 Resumen de Costos anuales de mantenimiento actual	48
Figura No. 26 Resumen de costos anuales de mantenimiento luego de expansión	49
Figura No. 27 Abreviaturas por país de operación	50
Figura No. 28 Propuesta de codificación del equipo	50
Figura No. 29 Propuesta de listado maestro de equipos	51
Figura No. 30 Propuesta de tarjeta individual del equipo	52
Figura No. 31 Propuesta de archivo histórico del equipo	53
Figura No. 32 Propuesta de orden de trabajo	55
Figura No. 33 Diagrama de flujo de OT	57

Figura No. 34 Propuesta de tarjeta de registro de actividades	58
Figura No. 35 Propuesta de tarjeta de tiempos del equipo para ser completada en obra	60
Figura No. 36 Propuesta de tarjeta de tiempos del equipo para ser completada	61
Figura No. 37 Propuesta de lista de verificaciones para inspecciones (Checklist)	63
Figura No. 38 Propuesta de listado de piezas para mantenimiento, reparación y operación	65
Figura No. 39 Matriz para estrategia de pedidos	66
Figura No. 40 Propuesta de solicitud de materiales (MR)	67
Figura No. 41 Estimaciones de costos de mantenimiento	68
Figura No. 42 Propuesta de inspecciones y sus respectivas frecuencias	72
Figura No. 43 Propuesta de actividades de MP y sus respectivas frecuencias	73
Figura No. 44 Propuesta de tabla de registro y análisis de fallas	75

## **LISTA DE FOTOGRAFÍAS**

Fotografía 1. Sitio tipo monoposte	28
Fotografía 2. Sitio tipo monopolo	28
Fotografía 3. Torre autosportada	29
Fotografía 4. Sitio tipo de torre autosportada	29
Fotografía 5. Tapa filtro de aire	99
Fotografía 6. Filtro de aire	99
Fotografía 7. Vista frontal	100
Fotografía 8. Vista lateral	100
Fotografía 9. Vista trasera	100
Fotografía 10. Árbol flexible y cabezal vibrador	100

## RESUMEN

Este trabajo de graduación plantea una propuesta de departamento de mantenimiento y un plan de mantenimiento mecánico preventivo para una empresa constructora especializada en la realización de obra civil para proyectos de Telecomunicaciones.

La propuesta del departamento de mantenimiento incluye la misión, objetivos, organización, funciones, métodos de control, los perfiles y responsabilidades de sus integrantes. Mientras que la propuesta del plan de mantenimiento mecánico preventivo para la maquinaria ligera de construcción está conformado por las tareas de inspección, mantenimiento y reemplazo programadas.

Este documento introduce primero un marco teórico de los conceptos de mantenimiento y la evolución de los mismos a través del tiempo. Luego se presenta la propuesta del diseño del Departamento de Mantenimiento y del Plan de Mantenimiento Mecánico Preventivo para el equipo denominado Vibrador Interno Modular (empleado en la fundición de concreto). Este último presentará la ventaja de que si se desea en un futuro podrá ser utilizado como referencia para la elaboración de otros planes relacionados con las actividades de la empresa.

# I. INTRODUCCIÓN

Las técnicas y tecnología del mantenimiento han sufrido grandes cambios a través del tiempo, incluso la percepción acerca del mismo ha sufrido cierta evolución. En la actualidad ninguna actividad productiva que utilice máquinas se concibe sin la implementación de un plan de mantenimiento. Para que las actividades de mantenimiento se puedan realizar debe existir una organización que brinde los lineamientos, controles, insumos, etc. Por todo esto es indispensable que cualquier empresa que se desempeñe en el sector industrial actual cuente con estas dos herramientas.

Actualmente nos desarrollamos en un mundo globalizado que sale de una crisis económica, en donde una elevada tasa de productividad es indispensable para la supervivencia de cualquier organización. Es por esto que se presenta la propuesta de un sistema de mantenimiento mecánico preventivo para una empresa constructora, con el cual se busca aumentar las ventajas competitivas de la empresa.

## **II. Objetivos**

### **A. Objetivos generales**

1. Proponer el diseño de un departamento de mantenimiento que sea cumpla con las necesidades de una empresa constructoras especializada en proyectos de telecomunicaciones.
2. Proponer un plan de mantenimiento preventivo para vibradores internos modulares que asegure y mantenga la capacidad y funcionalidad de los mismos.
3. Establecer las herramientas necesarias para la creación y control de un departamento de mantenimiento y un plan de mantenimiento para un equipo específico.

### **B. Objetivos específicos**

1. Determinar las acciones de control necesarias para el correcto funcionamiento de un departamento de mantenimiento.
2. Determinar las acciones de mantenimiento necesarias para el equipo en estudio.
3. Presentar las herramientas para aumentar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos.
4. Presentar las acciones necesarias para reducir al mínimo los tiempos muertos y el mantenimiento no programado.
5. Proponer una serie de pasos y procedimientos que permita mejorar la efectividad y calidad del mantenimiento.

### III. ANTECEDENTES

#### A. El mantenimiento y su historia

El mantenimiento puede definirse como el conjunto de acciones a través de las cuales un equipo, sistema, instalación u otro activo fijo se mantiene, o se restablece a, un estado en el que es capaz de realizar las funciones designadas para las que fue creado. Los objetivos y la combinación de actividades que se realizan en el mantenimiento han sufrido una evolución a lo largo del tiempo, es por lo anterior que la historia del mantenimiento comúnmente se divide en etapas llamadas generaciones. No existe una clara división o frontera cronológica entre estas generaciones, esto como resultado de que el desarrollo de cada sector de la industria se ha desarrollado de forma diferente. El estudio de estas etapas presenta las técnicas y organizaciones que se han implementado. A Continuación se presentan las etapas del mantenimiento:

**1. Primera generación:** (aproximadamente de 1900 a 1950). El objetivo del mantenimiento era de reparar en caso de que existiera una falla o avería. Si no se presentaba algún desperfecto el equipo continuaba operando sin recibir alguna atención a excepción de ciertas limpiezas y lubricaciones ocasionales. La mayoría de los equipos eran simples y estaban sobredimensionados lo que los hacía fiables y de reparación sencilla. Las únicas inspecciones que se realizaban eran las que tenían lugar después de la falla de la máquina.

**2. Segunda generación:** (aproximadamente de 1950 a 1980). En esta etapa se buscaba aumentar la disponibilidad de las máquinas, el tiempo de operación en condiciones idóneas (alargar la vida útil) y que todo se lograra con los costos más bajos posibles. La Segunda Guerra Mundial, la competencia industrial, la incorporación de los fabricantes orientales al mercado occidental son solo algunos de los factores que propiciaron la necesidad de mejores resultados en cuanto al mantenimiento. Para poder cumplir con los objetivos planteados en esta etapa surgieron técnicas como la revisión cíclica o repetitiva a los equipos e instalaciones, programas de lubricación, etc. Esto marca el inicio de los reemplazos programados de repuestos que tuvieron como resultado una disminución de los tiempos muertos pero también un incremento en los costos ya que muchas partes eran reemplazadas antes de lo estrictamente necesario. Es

3. importante mencionar que aunque se redujeron los tiempos muertos los mantenimientos correctivos no se eliminaron, lo que nos lleva a concluir que la segunda generación del mantenimiento se caracterizó por mantenimientos planificados rutinarios y mantenimientos correctivos. La optimización del mantenimiento de segunda generación fue posible gracias al desarrollo de sistemas avanzados de planificación y programación de actividades y de sistemas de control de los trabajos realizados.

4. **Tercera generación:** (aproximadamente de 1980 a 2000). En la década de los años ochenta el mantenimiento de segunda generación se encontraba en una situación de estancamiento. Los sistemas de planeación y control permitieron la optimización de las periodicidades y las consistencias de las revisiones cíclicas. La gestión de mantenimiento había estabilizado tres de sus índices definitorios: **la disponibilidad, la fiabilidad y los costos**. La situación era tal que cualquier aumento o mejora en alguno de los tres índices era posible únicamente si se afectaba negativamente uno o los dos índices restantes. Por ejemplo: si se deseaba mejorar el área de costos era necesario disminuir los insumos lo que empeoraba la disponibilidad y/o la fiabilidad. Este estancamiento propicia el nacimiento del mantenimiento de tercera generación. En esta generación los objetivos se basan en los tres índices mencionados anteriormente, pero también se incluyen aspectos que hasta entonces no eran abordados como lo son: la seguridad, la calidad y la protección del medio ambiente. La filosofía de la tercera generación se basa en la incorporación de técnicas y métodos que intervienen en los equipos sólo cuando es necesario. Esto da como resultado la creación del mantenimiento según condición en el que se monitorea y analiza la evolución de una variable significativa que determina el estado de la máquina y establece cuando debe intervenir la misma.

En materia de recursos humano el mantenimiento de tercera de generación se caracteriza por la creciente participación del personal. Se crean grupos de mejora, círculos de calidad, entre otros, con el fin involucrar y corresponsabilizar a directivos y operarios. Otro aspecto importante que tiene lugar en esta generación es la llamada externalización del mantenimiento, en la que se contrata a otra empresa para que sea ésta la encargada de realizar todas las actividades de mantenimiento. El objetivo de esta medida, también conocida como outsourcing, es reducir los costos y aumentar la flexibilidad.

**5. Cuarta generación:** (aproximadamente del 2002 a la fecha). Esta es una generación que no mucho autores reconocen ya que los cambios en relación a la etapa anterior no son tan marcados como se vio en los cambios de generación previos. Es importante presentar la información concerniente a esta etapa ya que muestra la actualidad del mantenimiento y las tendencias hacia el futuro. En este período crece la necesidad de integrar todo los nuevos conceptos de mantenimiento que en el pasado se han utilizado de forma aislada. Nacen técnicas organizativas como lo son RCM<sup>1</sup>(Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) y el TPM<sup>2</sup>(Mantenimiento Productivo Total), que pueden ser válidas para determinados aspectos del mantenimiento. Estas técnicas bajo ningún caso deben ser consideradas únicas y excluyentes, es necesario integrarlas. Se busca alcanzar certificaciones que evalúen calidad y medio ambiente en conjunto.

## **B. Sistemas de mantenimiento**

Un sistema de mantenimiento puede ser visualizado como un modelo simple en el cual se ingresa información y se tiene como resultado una salida determinada, en otras palabras un modelo de entrada-salida. Las entradas de este modelo son: equipo, herramientas, repuestos, administración, mano de obra, entre otros. Mientras que la salida es el equipo, maquinaria u otro activo fijo funcionando de manera confiable y con una configuración correcta.

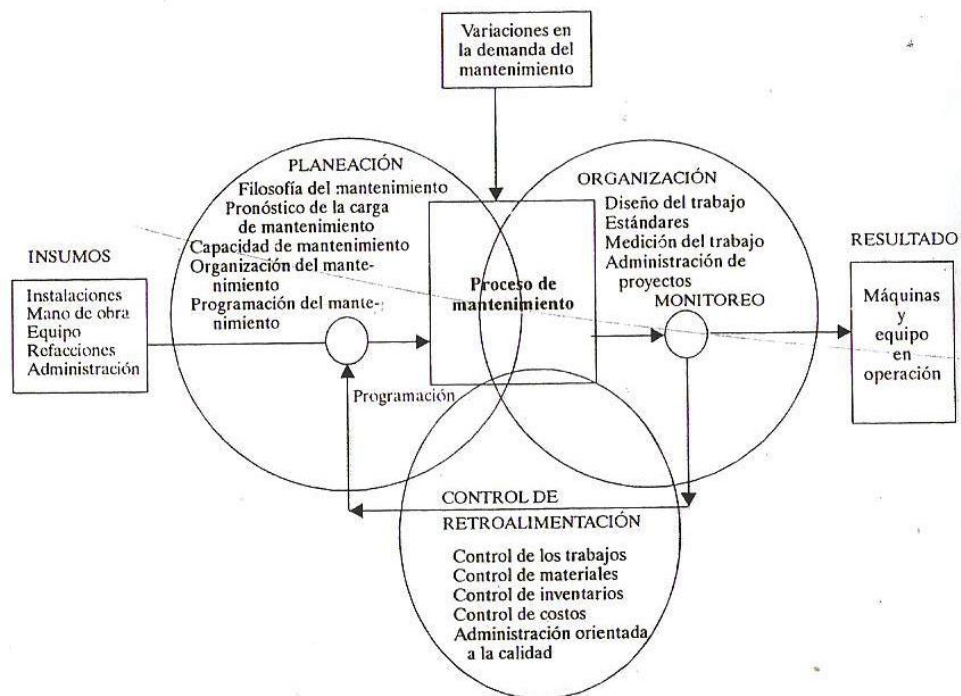
Para que este tipo de sistema sea funcional es necesario que realicen actividades de: planeación, organización y control. En la figura 1 se describe un sistema representativo de mantenimiento.

---

<sup>1</sup> De sus siglas del nombre en inglés: Reliability-Centered Maintenance

<sup>2</sup> De sus siglas del nombre en inglés: Total Productive Maintenance

**Figura 1. Sistema de mantenimiento**



**1. Planeación.** Las actividades de planeación por lo regular incluyen las siguientes:

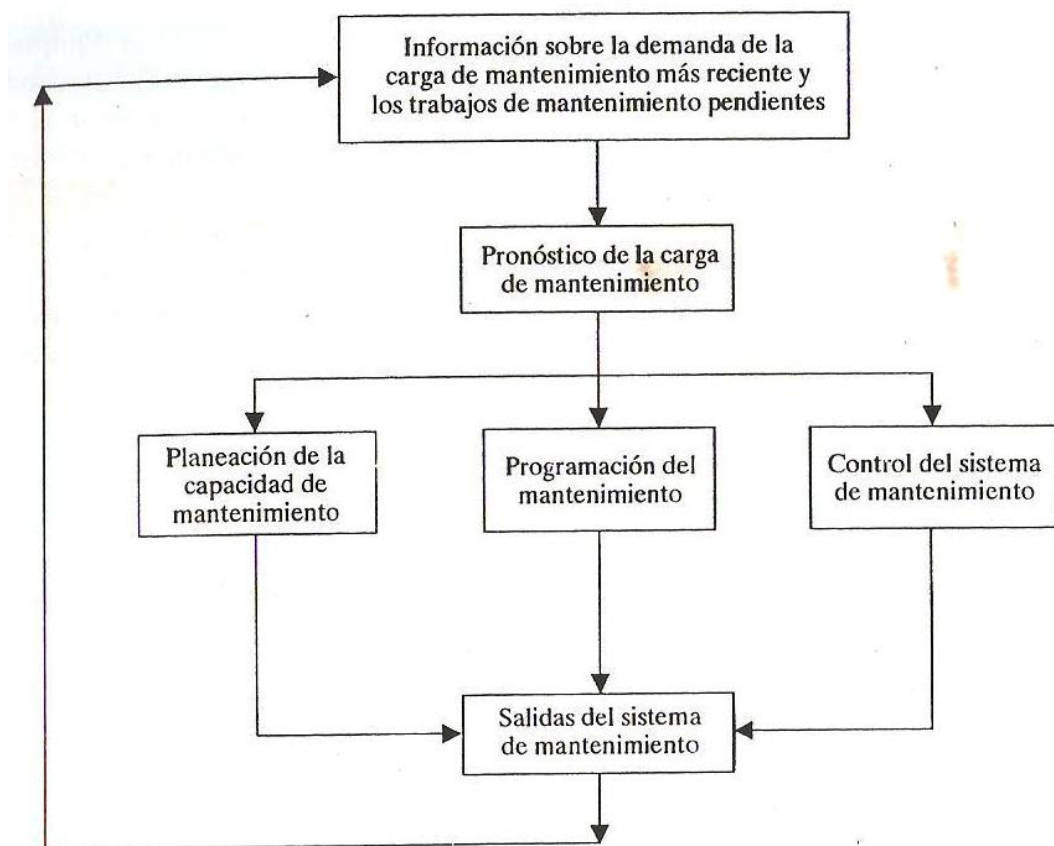
**a. Filosofía del mantenimiento.** Ésta debe ser mantener un nivel mínimo de personal de mantenimiento que permita la optimización de la producción y la disponibilidad de los equipos, todo esto sin que se vea afectada la seguridad. Para alcanzar esta filosofía existen numerosas estrategias, algunas de las cuales son:

- 1) Mantenimiento correctivo
- 2) Mantenimiento preventivo sistemático
- 3) Mantenimiento preventivo según condiciones
- 4) Modificación del diseño
- 5) Detección de fallas
- 6) Reparación general (overhaul)
- 7) Reemplazo

La mezcla óptima de estrategias da como resultado la filosofía de mantenimiento más eficaz de acuerdo a parámetros como el tamaño de la planta, nivel de operación, etc.

**b. Pronóstico de la carga de mantenimiento.** Éste es el proceso a través del cual se predice la cantidad de trabajos de mantenimiento que van a ser necesarios para mantener los niveles óptimos de operación. Ésta puede variar de forma aleatoria y al mismo tiempo verse afectada por factores como: nivel de uso de los equipos, su antigüedad, factores ambientales, calidad del mantenimiento y destrezas de los operarios. El pronóstico de carga es fundamental para alcanzar niveles deseados de eficiencias y eficacia. En la figura 2 se muestra el papel que desempeña este proceso en un sistema de mantenimiento.

**Figura 2.** Función del pronóstico de carga en un sistema de mantenimiento



**c. Capacidad de mantenimiento.** Determina los recursos que son necesarios para satisfacer la carga de mantenimiento. Algunos de estos recursos son: repuestos, materiales, mano de obra, herramientas y equipo. Entre los aspectos críticos a considerar se incluyen la cantidad de personal y las destrezas necesarias para cumplir con el trabajo. Como resultado de que la carga de mantenimiento es una variable aleatoria no es posible determinar el número exacto de trabajos que van a ser demandados, es por esto que no se puede definir la cantidad justa de técnicos capacitados. Una práctica recomendada para optimizar el uso de los recursos de mano de obra es la que las organizaciones emplean un menor número de técnicos de los que han pronosticado. Esto probablemente tendrá como consecuencia una acumulación de trabajos pendientes pero esto puede solucionarse mediante el trabajo de horas extras o la externalización del mantenimiento. Existirán situaciones en donde la carga es menor que la capacidad y es en estos casos en donde es conveniente tener trabajos pendientes.

**d. Organización del mantenimiento.** La organización del departamento de mantenimiento dependerá del tamaño de la planta, carga de mantenimiento, distribución y localización de los equipos, destrezas de los trabajadores, etc. Dicha organización puede ser por áreas, por departamentos o de forma centralizada y deberá seleccionarse la más apropiada de acuerdo con los factores citados al inicio de este párrafo.

**e. Programación del mantenimiento.** Es el proceso por el cual se asigna el personal y los recursos para los trabajos que deben completarse en tiempos determinados. Previo a programar una tarea de mantenimiento es fundamental asegurar que se cuente con la disponibilidad requerida de mano de obra, repuestos, materiales y herramientas. Dentro de una planta existe maquinaria y equipo cuya falla detendrá el proceso de producción y/o pondrá en riesgo la seguridad del personal. Este equipo es conocido como equipo crítico, el trabajo de mantenimiento para éstos posee las más altas prioridades y es realizado antes que cualquier otro trabajo. La programación del mantenimiento y su capacidad para adaptarse a cambios e imprevistos tiene un efecto directo en la eficacia del sistema de mantenimiento. Un alto nivel en la efectividad de la programación de mantenimiento es un indicativo de un alto nivel de eficacia del propio mantenimiento.

**2. Organización.** Entre las actividades necesarias para la organización de un sistema de mantenimiento se encuentran:

**a. Diseño del trabajo.** Está conformado por el contenido de cada actividad y especifica el método que debe utilizarse, así como también las herramientas necesarias y las destrezas que el trabajador debe poseer para poder llevar a cabo dicha actividad.

**b. Estándares de tiempo.** Luego que las actividades de mantenimiento han pasado por la etapa del diseño es necesario establecer los períodos de tiempo límite en el que estos trabajos deben completarse. Los estándares de tiempo pueden representar una ventaja en la búsqueda del control e incremento de la eficacia y eficiencia de los trabajadores con lo cual se pueden reducir los tiempos muertos. No es indispensable tener definidos tiempos para todas las actividades, los estándares deben calcularse para los trabajos que consumen mucho tiempo.

**c. Administración de proyectos.** Por lo general en las fábricas grandes se llevan a cabo mantenimientos periódicos o reparaciones generales de manera periódica. Cuando estos trabajos son realizados gran parte o la totalidad de la planta ve detenida su operación. Con el objetivo de reducir los tiempos muertos es muy conveniente planificar y esquematizar el trabajo para optimizar el uso de los recursos y el tiempo. La administración de proyectos comprende el desarrollo de rutinas o redes de actividades, empleando técnicas como la evaluación y revisión de programas (PERT<sup>3</sup>) o el método de la ruta crítica (CPM<sup>4</sup>). La red de trabajo incluye el tiempo de paro, un desglose de trabajos, la secuencia de las actividades, la estimación de tiempos para cada actividad, etc.

**3. Control.** La tercera parte de la administración científica del mantenimiento es la de control. Ésta comprende lo siguiente:

**a. Control de trabajos.** La fuerza motriz que provoca el movimiento a través de un sistema de esta índole es la demanda de trabajos de mantenimiento. La filosofía que se adopta influye en la carga de trabajos de mantenimiento. El control y la administración adecuada de

---

<sup>3</sup> De sus siglas del nombre en inglés: Program Evaluation and Review Technique

<sup>4</sup> De sus siglas del nombre en inglés: Critical Path Method

estos trabajos son elementos fundamentales para lograr las metas y planes establecidos. La herramienta que se utiliza para llevar a cabo dicho control es el sistema de órdenes de trabajo, a continuación se presenta este sistema así como también algunas otras herramientas empleadas para el control de actividades.

**1) Órdenes de trabajo.** Ésta es una forma en donde se puntualizan las instrucciones, de manera escrita, para la actividad de mantenimiento que se va a realizar. Un orden de trabajo en la actualidad recibe muchos nombres como lo son: solicitud de trabajo, requisición de trabajo, solicitud de servicios, entre otros. Los objetivos del sistema de órdenes de trabajo son los siguientes:

- a) Solicitar por escrito el trabajo.
- b) Asignar a los mejores trabajadores y métodos para el trabajo.
- c) Aumentar la eficiencia mediante la reducción de costo y la optimización de los recursos.
- d) Mejorar la planeación y la programación de los trabajos.
- e) Controlar el trabajo de mantenimiento.
- f) Mejorar en general el mantenimiento por medio de la recopilación de datos encontrados en la orden que posteriormente pueden ser utilizados en la mejora continua.

**2) Registro de histórico del equipo.** Éste es un documento en donde se registra información acerca de todos los trabajos realizados en un equipo, el momento de fallas, naturaleza de las fallas, tiempo muerto del mismo, repuesto utilizados, el costo de las reparaciones y las especificaciones del mantenimiento planificado.

**3) Tarjeta de reporte.** Documento en donde se registra el trabajo realizado por el operador de mantenimiento, así como también las condiciones del equipo antes y después de dicho trabajo.

**4) Informe de trabajos pendientes.** Resulta muy útil realizar informes semanales o quincenales de trabajos pendientes por puesto. Estos informes deben indicar la razón del atraso. La principal ventaja de este tipo de documentos es que le permiten al

encargado de mantenimiento tomar medidas correctivas de acuerdo a la situación actual. Por ejemplo: si los trabajos pendientes son pocos se puede considerar reducir la fuerza laboral o la transferencia entre departamentos, en caso contrario si el número de trabajos pendientes es elevado se puede laborar horas extras o subcontratar personal de mantenimiento. Para que esto sea posible es necesario establecer un rango aceptable de trabajos pendientes.

**b. Control de inventarios.** Como se mencionó anteriormente para poder programar las actividades de mantenimiento es crucial asegurarse de que se dispone de los materiales y los repuestos necesarios. En una situación ideal cada repuesto debería obtenerse en el momento exacto que surge la necesidad del mismo y en el lugar geográfico de esta necesidad, esto es claramente económicamente impráctico así como físicamente imposible. Es por lo anterior nace la necesidad de mantener inventarios. El control de inventarios es la herramienta por medio de la cual se mantienen los niveles deseados de materiales, herramientas y repuestos. Es fundamental mantener un nivel óptimo de repuestos que reduzca los costos de tener artículos en existencia y al mismo tiempo reduzca los costos en los que se incurre cuando una repuesto no está disponible.

**c. Control de costos.** Los costos del mantenimientos esta conformados por muchos componentes en los que se incluyen:

- 1) Costo directo del mantenimiento (costo de los repuestos, materiales, mano de obra y herramientas)
- 2) Costo del tiempo muerto del equipo (producción perdida)
- 3) Costo de calidad debido a que el equipo se encuentra fuera del rango de especificaciones
- 4) Costo de la degradación del equipo
- 5) Costo de mantenimiento excesivos

Algunos parámetros empleados en el control de costos de los materiales de mantenimiento se presentan a continuación:

**1) Costo del artículo.** Comprende la suma que se pago al proveedor por el artículo, se incluye el flete.

**2) Costo de tener en inventario el artículo.** Este costo varía regularmente entre el 15% y 20% del costo del artículo por año. Es el costo que le representa a la organización tener el artículo en existencia en la bodega. Éste se puede estimar empleando la siguiente ecuación:

$$I_C = \frac{(F_s)(b)}{(N)(K)}$$

En donde:

$F_s$  = costo del área en piso por metro cuadrado

$b$  = tamaño del contenedor, en metros cuadrados

$N$  = número promedio de artículos almacenados en el contenedor

$K$  = recíproco de la fracción del año en el que el artículo ésta en existencia

**3) Costo del artículo en el momento de su salida.** En este tipo de costo se considera: el costo del espacio empleado para almacenamiento, costo del capital invertido (se considera que cae en el interés del banco esperado si se realizara una inversión equivalente), costo por desperdicio y deterioro, por último costo debido a inflación mensual. Éste también puede estimarse empleando la siguiente ecuación:

$$I = I_C + I_F + (I_F - C_1) + k_1TC_1 + k_2C_1$$

En donde:

$I$  = costo del artículo en el momento de su salida

$I_C$  = costo de tenerlo el artículo en inventario

$C_1$  = costo del artículo (valor presente)

$I_F$  = costo del artículo (valor futuro)

$k_1$  = tasa de inflación mensual (mientras el artículo se encuentra en existencia)

$k_2$  = porcentaje del costo concedido por desperdicio o deterioro.

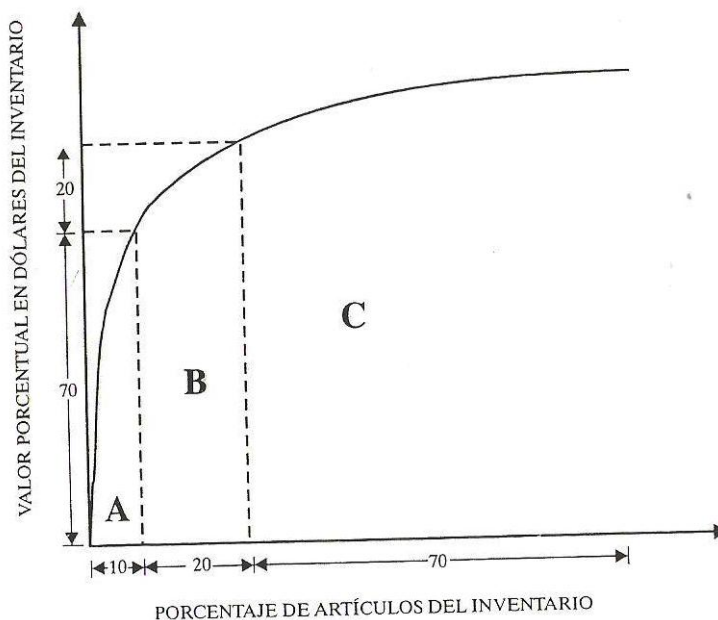
$T$  = tiempo en meses del artículo en existencia

$$I_F = C_1(1 + i)^n$$

El control de inventarios es fundamental para un eficiente y eficaz control de costos. Algunos de los métodos utilizados son los siguientes:

**1) Análisis ABC.** Éste se basa en la ley de Pareto y establece que los artículos significativos de un grupo sólo conforman un porcentaje pequeño del número total. Al aplicar esta ley al sistema de inventarios se hará evidente que el grupo de piezas, materiales y/o repuestos responsables de la mayor parte del costo total del inventario (aproximadamente entre el 70% y 80%) está conformado por un número relativamente pequeño de piezas, materiales y/o herramientas (alrededor del 10%) que se tienen en existencia. Esto se muestra en la siguiente figura.

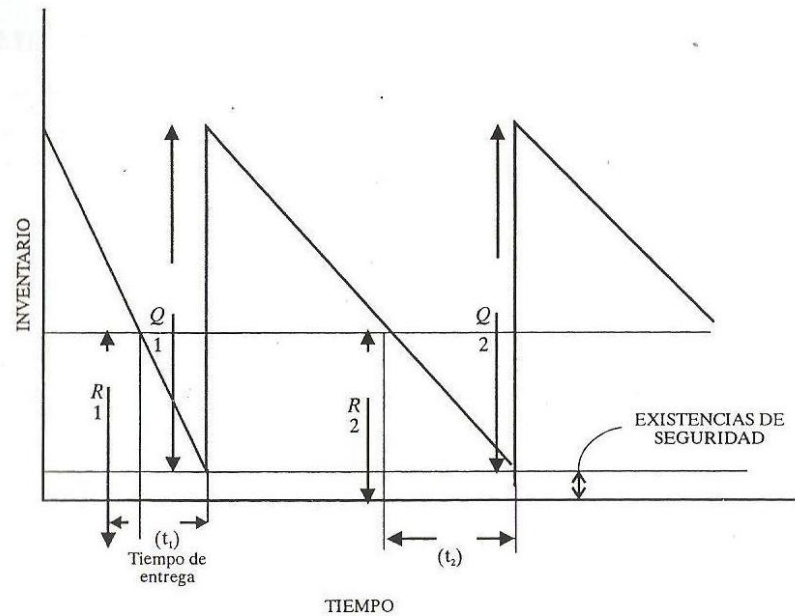
**Figura 3.** Diagrama de Pareto



**2) Nivel de Reorden.** Sistema en el que a cada artículo en el inventario se le asigna un nivel mínimo de seguridad, cuando este nivel o número de piezas en existencia se alcanza se da la directriz de hacer un pedido de dichas piezas, herramientas, materiales o

insumos. Se asume que el consumo de piezas es conocido y constantes, este tipo de sistema es adecuado para artículos de clase B y C según el análisis ABC.

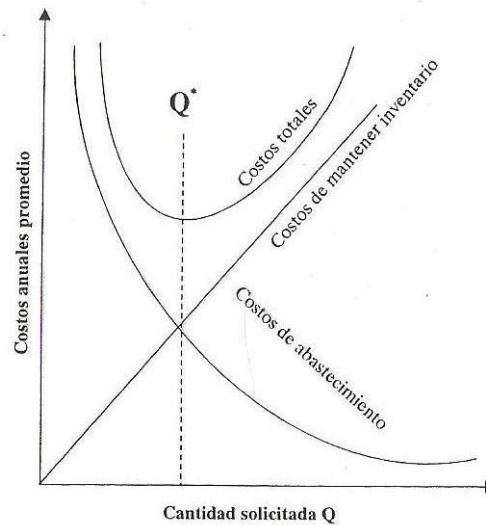
**Figura 4.** Diagrama de Nivel de reorden



**3) Tamaño de lote económico (EOQ).** La finalidad del control de inventarios es determinar el costo mínimo de operación del sistema y minimizar el costo global, a esto se le conoce como tamaño de lote económico. El costo anual es el resultado de la suma de los costos de los artículos, los costos de abastecimiento y los costos de mantener en inventario dichos artículos.

Costo total anual = Costo del artículo + Costos de abastecimiento + Costo de mantener en inventario

Para simplificar este modelo consideramos el costo de los artículos como un valor constante, ahora consideramos únicamente los costos restantes.

**Figura 5.** Modelo de costo de inventarios

De la figura anterior podemos apreciar que costos anuales aumentan con un valor mayor de la cantidad solicitada ( $Q$ ). Al tener valores grandes de  $Q$  se tiene como resultado niveles altos de inventario y elevados costos de mantener en inventario, además se reduce la necesidad de realizar pedidos y disminuyen los costos de abastecimiento. Lo opuesto sucede al solicitar valores pequeños de  $Q$ . La cantidad óptima ( $Q^*$ ) de la solicitud es el punto en donde los costos anuales son mínimos. La cantidad  $Q^*$  se puede estimar empleando la siguiente ecuación:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{I_c}}$$

En donde:

$D$  = Demanda anual

$S$  = Costo de ordenar

$I_c$  = costo de mantener en inventario

El tamaño de lote económico es el número óptimo de artículos que deben ordenarse al momento de alcanzar el nivel de reorden, la cantidad de este pedido es la que menos afecta negativamente los costos anuales del inventario.

La disminución y el control de los costos de mantenimiento pueden llegar a representar una ventaja competitiva en el suministro de productos y servicios.

**d. Control de calidad.** En el caso del mantenimiento la calidad de los trabajos de este tipo pueden considerarse por medio de “capacidad para su uso”, “hacer el trabajo bien a la primera vez”, entre otros. Como mencionó anteriormente el mantenimiento puede ser visto como un modelo de entradas-salidas y estas salidas deben ser monitoreadas para comprobar su calidad. Un método para evaluar la calidad puede ser mediante la proporción entre las actividades de mantenimiento aceptadas de acuerdo a los estándares y normas de la organización. Para obtener una alta calidad se debe verificar y supervisar de cerca los trabajos especialmente los críticos. La razón del control de calidad en el área de mantenimiento radica en que un equipo con un buen mantenimiento produce menos desperdicios, rechazos u opera dentro de los rangos de diseño.

## C. Formulaciones científicas del mantenimiento

**1. Confiabilidad:** se define como la probabilidad de que un equipo esté funcionando en las condiciones operativas de diseño en determinado período de tiempo.

**a. MTBF<sup>5</sup>:** es una medida de la confiabilidad y se refiere al tiempo medio entre fallas.

**2. Disponibilidad:** se define como la probabilidad de que un equipo tenga la capacidad de desarrollar la función para la cual fue creado en un determinado momento.

**3. Mantenibilidad:** se define como la probabilidad de que un equipo después de un fallo sea puesto en operación en un tiempo determinado.

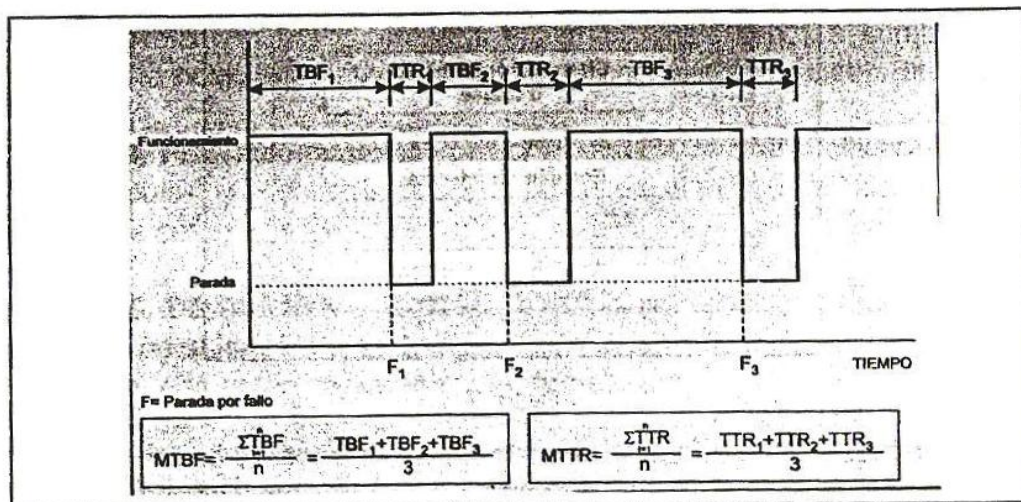
**b. MTTR<sup>6</sup>:** es una medida de la mantenibilidad y se refiere al tiempo medio de reparación.

---

<sup>5</sup> De sus siglas del nombre en inglés: Mean Time Between Failures

<sup>6</sup> De sus siglas del nombre en inglés: Mean Time to Repair

Figura 6. Conceptos científicos del mantenimiento



4. **Curvas de Weibull:** método por el cual se predice la tasa de fallos. Para esto es necesario analizar una muestra significativa de fallos, estos fallos se utilizan para generar una serie de puntos en una gráfica. La zona media de esta gráfica puede ser representada por una línea recta con pendiente  $\beta$ . El valor de  $\beta$  es el indicador del período de vida en el que se encuentra el objeto de estudio (ver figura 7).

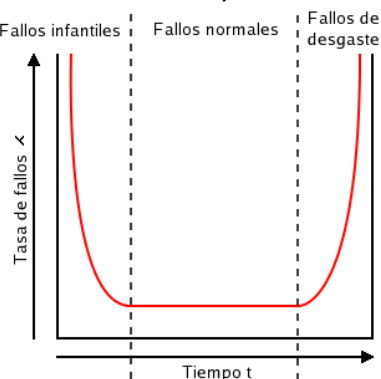
$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-t_0}{T-t_0}\right)^\beta}$$

$\beta < 1 \rightarrow$  fallos prematuros; mortalidad infantil.

$\beta = 1 \rightarrow$  fallos aleatorios; zona de vida útil con tasa de fallos constantes.

$\beta > 1 \rightarrow$  fallos por fatiga; límite de vida útil.

Figura 7. Curva de la bañera y ecuaciones de Weibull



En donde:

**a.t** es la variable de duración (kilómetros, segundos, horas, etc.)

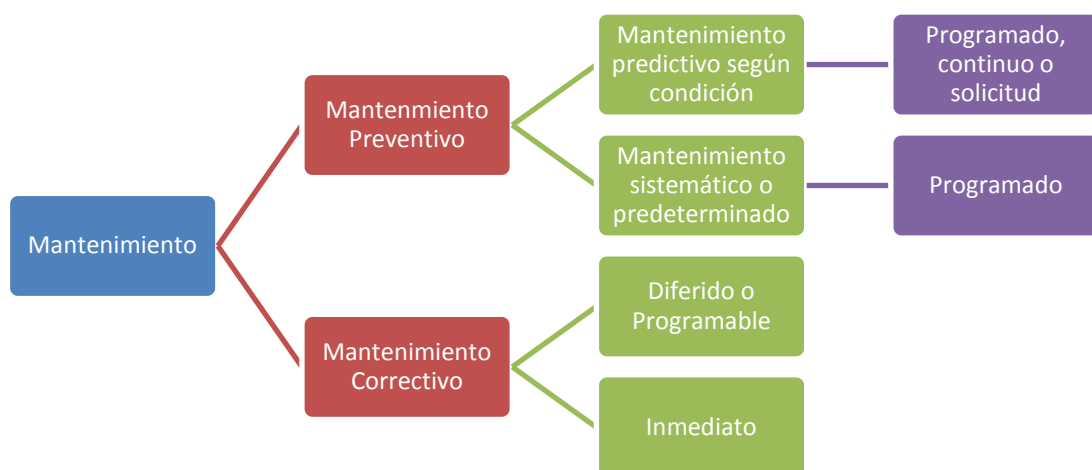
**b.T** es la duración característica media (es común utilizar el momento  $t$  en el que ha fallado el 63.2% de los objetos)

**c.T<sub>0</sub>** es el momento en el que ha ocurrido el primer fallo.

## D. Tipos de mantenimiento

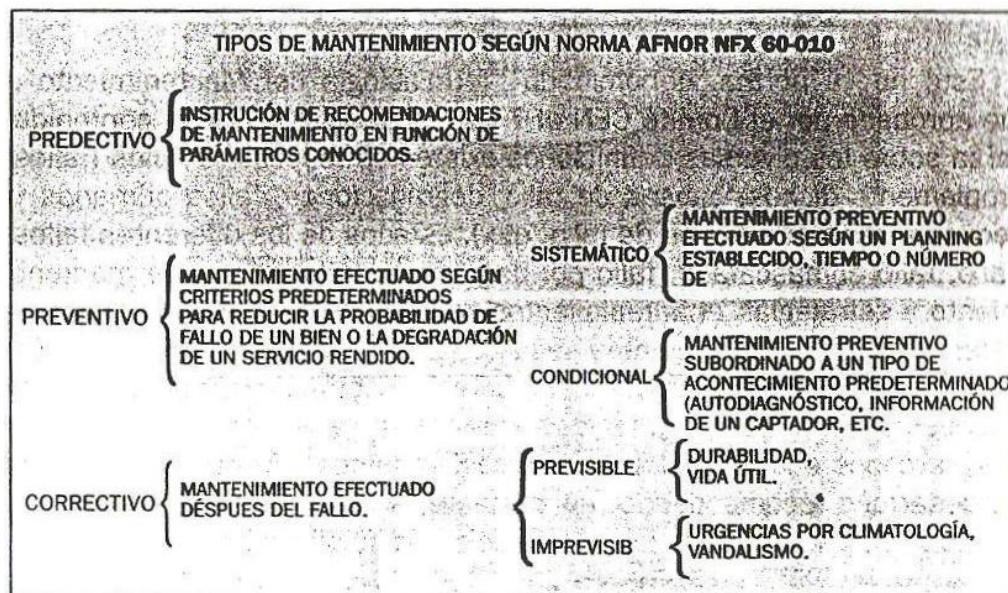
El mantenimiento puede ser clasificado de acuerdo con la naturaleza de las actividades desempeñadas y el enfoque del grupo de trabajo. Existen varias normas elaboradas por diferentes comités que tiene como finalidad establecer clasificaciones de los diferentes tipos de mantenimiento. En las figuras 8 y 9 se ejemplifican dos de ellas.

**Figura 8.** Clasificación del mantenimiento según norma EN-13306 establecida por el CEN<sup>7</sup>



<sup>7</sup> De sus siglas del nombre en francés: Comité Européen de Normalisation

**Figura 9.** Clasificación del mantenimiento según norma AFNOR<sup>8</sup> NFX 60-010



En este documento se utilizará la siguiente clasificación del mantenimiento:

**1. Mantenimiento correctivo.** Tipo de mantenimiento en el que se interviene el equipo hasta que éste presenta una falla y el objetivo es la reparación de fallas. La filosofía de éste es la de intervenir en el equipo o maquinaria hasta que se produzca una avería. Requiere de un control de inventario preciso y correcto para que los equipos puedan ser reparados en el menor tiempo posible. Existen dos tipos de mantenimiento correctivos, y éstos son:

**a. Mantenimiento correctivo no planificado (Inmediato).** Corrección de fallas en el instante en el que éstas se presentan, por ejemplo: reparación de urgencia tras una avería que obligó al personal de producción a detener el equipo dañado. Las averías afectan el funcionamiento requerido del equipo es por esto que su reparación se considera de urgencia.

**b. Mantenimiento correctivo planificado (Diferido).** La naturaleza de las fallas no impide el funcionamiento requerido del equipo es por esto que la reparación del mismo puede programarse y no es necesario realizar dicha reparación de modo urgente.

<sup>8</sup> De sus siglas del nombre en francés: Association française de Normalisation

Se presenta este tipo de mantenimiento cuando no es justificable la aplicación de otra estrategia. El mantenimiento correctivo también es conocido como de operación “hasta que falle.”

**2. Mantenimiento preventivo (MP).** Éste también es llamado mantenimiento preventivo con base en el tiempo, en el uso o sistemático. Este tipo de mantenimiento se define como una serie de actividades planeadas previamente que se realizan con el fin de contrarrestar las causas de fallas potenciales de las funciones para las que fue creado un equipo, maquinaria u activo. Presenta las siguientes ventajas:

- a. Prevención de fallas prematuras
- b. Reducción de la frecuencia de las fallas
- c. Reducción de la severidad de las fallas y sus consecuencias
- d. Puede aportar una advertencia de falla inminente
- e. Reducción de los tiempos muertos no programados

El MP tiene como finalidad asegurar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos.

**3. Mantenimiento predictivo.** Éste también es llamado mantenimiento preventivo según condiciones. Este tipo de mantenimiento tiene como objetivo intervenir en el equipo sólo cuando es necesario, esto es antes de que se produzca una falla. La condición del equipo se determina mediante el monitoreo de parámetros clave y la evolución de éstos determinan el estado del activo. Las actividades de mantenimiento se realicen únicamente cuando son necesarias lo que reduce los tiempos muertos no programados, tiempos muertos programados y el inventario de repuestos.

**4. Mantenimiento proactivo.** Este tipo de mantenimiento se basa en la **detección, análisis y corrección de las causas fundamentales de las fallas en un equipo.** La vida útil de los componentes de un máquina puede extenderse si los parámetros de causa de falla sea mantienen dentro de límites aceptables. Como límites aceptables entendemos el rango de severidad operacional que tendrá como resultado una vida aceptable del componente que se encuentra en servicio. Luego de identificar las causas de fallas en una maquinaria es imperativo que éstas se minimicen ya que de lo contrario la vida útil y el desempeño del activo se verán

reducidos. Con la finalidad de detectar y corregir las causas de falla es fundamental establecer métodos de control y seguimiento de parámetros clave para identificar su estado y comportamiento. Los resultados del mantenimiento proactivo son la disminución de tiempos muertos, la disminución de los inventarios, aumento de la disponibilidad, etc.

Esta filosofía es la más reciente y puede verse como una evolución del mantenimiento según condición ya que se basa en el monitoreo de variables significativas que determinan el estado de un equipo, en la intervención del equipo únicamente cuando es necesario pero adiciona la parte del análisis del porque se da la necesidad de esta intervención y define una solución que minimice estas intervenciones.

## **E. Maquinaria de construcción**

El término maquinaria es de origen latín y se refiere al conjunto elementos o dispositivos manufacturados por el hombre que tiene como objetivo facilitar la realización de una tarea específica, este conjunto posee cierto grado de sofisticación. **La maquinaria se caracteriza por la transformación de diversos tipos de energía (eléctrica, química, hidráulica, solar, etc.) en energía mecánica útil.** Existen diversas clasificaciones existentes para la maquinaria, a continuación se presenta la clasificación según su uso:

1. Maquinaria de construcción
2. Maquinaria agrícola
3. Maquinaria textil
4. Maquinaria alimenticia
5. Entre otras

La clasificación anterior se extiende a muchas actividades y sectores en la actualidad. Nos enfocaremos en la maquinaria utilizada en el sector de la construcción, también llamada **maquinaria de construcción**. Ésta se conforma por los equipos que se emplean en las tareas del área de ingeniería civil y arquitectura. Es el tipo de maquinaria que facilita las tareas de construcción, modificación y demolición de edificaciones. Existen diversos tipos de estos

equipos, y varias clasificaciones. Los fabricantes los clasifican según su utilidad (la tarea específica que realizan) y por el tamaño de sus equipos. A continuación estas dos clasificaciones:

### 1. Clasificación según su uso

- a. Maquinaria de transporte de materiales
- b. Maquinaria para movimiento de tierras
- c. Maquinaria de excavación
- d. Maquinaria de demolición
- e. Maquinaria de nivelación
- f. Maquinaria de compactación
- g. Maquinaria de accesibilidad

### 2. Clasificación según su tamaño

- a. Equipos ligeros para la construcción
- b. Maquinaria compacta para la construcción
- c. Maquinaria pesada para la construcción

Por la naturaleza del presente trabajo nos centraremos en la clasificación según el tamaño y específicamente en el rubro de ***Equipos ligeros para la construcción***. El peso máximo de estos equipos es de tres toneladas métricas. Estos pueden ser de conducción manual, tripulados y de control remoto. Los fabricantes dividen esta área comercial en cuatro sectores:

1. Tecnología de concreto (hormigón)
2. Compactación de suelos y asfalto
3. Tecnología de demolición y corte
4. Tecnología de suministros

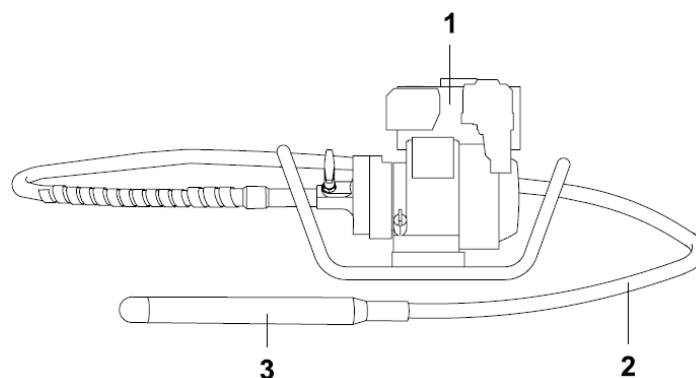
Los equipos para los que se ha elaborado este trabajo forman parte de la ***Tecnología de concreto***. Ésta se define como el área comercial en donde se emplea maquinaria que tiene como fin la elaboración, aplicación y acabados con concreto. Algunos ejemplos de equipos de esta área son: vibradores internos, vibradores externos, alisadoras de aspas, reglas vibratorias, mesas vibratorias (de bajo nivel de emisión sonora), convertidores de frecuencia, entre otros.

## F. Vibradores internos modulares

Estos equipos ligeros de construcción se utilizan con el objetivo de mejorar la compactación de una fundición de concreto, así como también su uniformidad en todo el volumen de la fundición. En las siguientes subsecciones se presentan de forma breve los datos más relevantes de estos equipos.

1. **Estructura.** En la figura 10 se muestra el esquema básico de un vibrador modular interno y sus elementos principales.

**Figura 10.** Esquema básico de un vibrador modular interno y sus elementos principales



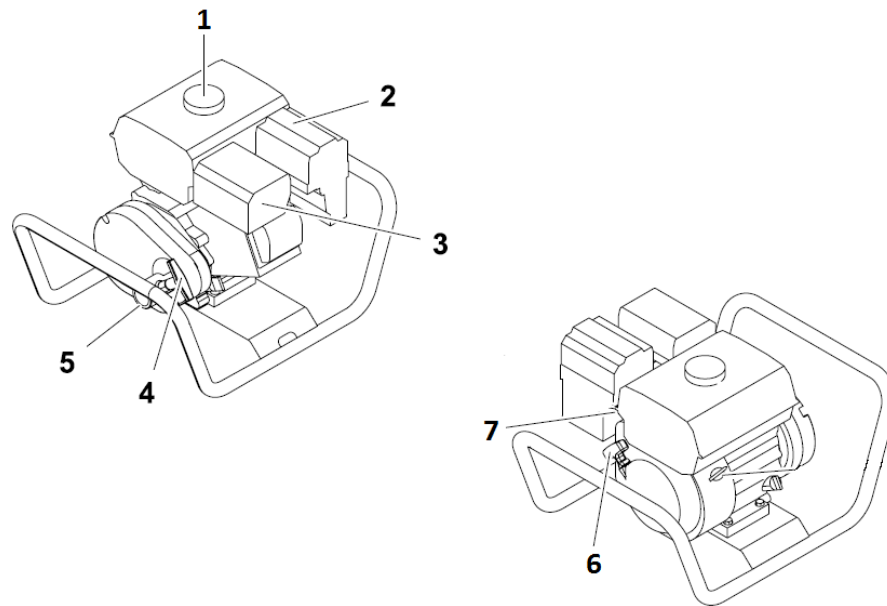
Item	Nombre
1	Accionamiento
2	Árbol flexible
3	Cabezal Vibrado

### a. Componentes del accionamiento

- 1) Tanque de combustible
- 2) Filtro de aire
- 3) Silenciador (escape)
- 4) Acoplamiento rápido (sección de poleas)

- 5) Conexión para árbol flexible
- 6) Dispositivo de arranque reversible
- 7) Palanca del acelerador

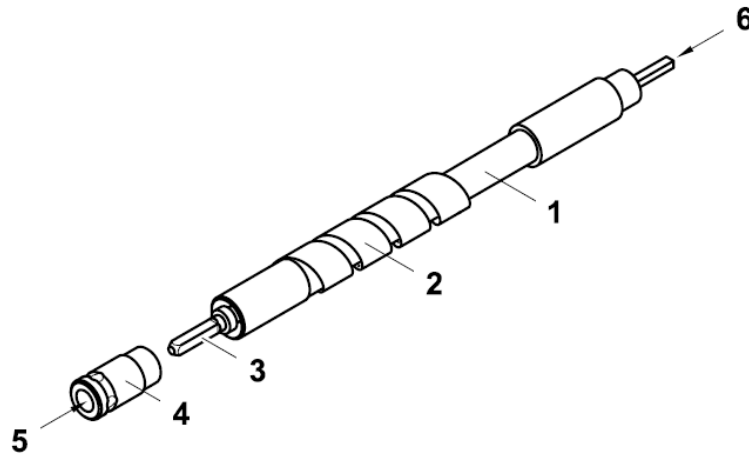
**Figura 11.** Esquema básico del accionamiento



**b. Componentes del árbol flexible**

- 1) Manguera protectora
- 2) Protector de pandeo
- 3) Alma del árbol
- 4) Pieza de acoplamiento
- 5) Conexión al cabezal vibrador

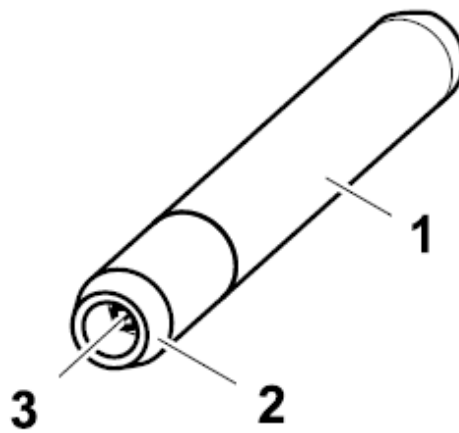
**Figura 12.** Esquema básico del árbol flexible



**c. Componentes del cabezal vibrador**

- 1) Caja
- 2) Pieza de conexión
- 3) Adaptador de alma del árbol flexible

**Figura 13.** Esquema básico del cabezal vibrador



2. **Operación.** Para compactar y mantener uniforme el volumen del concreto fresco por medio de un vibrador modular interno es necesario seguir estos simples pasos.

- a. Encender el vibrador.
- b. Acercar el vibrador al lugar específico en donde esta fundiendo y se debe mantener el equipo en posición perfectamente horizontal todo el tiempo de operación.
- c. Sumergir el cabezal vibrador rápidamente en el concreto fresco, esperar varios segundos y extraer.
- d. Repetir el paso anterior en todas las zonas de la fundición.

**Datos importantes:**

- a. El accionamiento debe estar en todo momento en una posición horizontal debido a las necesidades de lubricación del motor, el ángulo de inclinación máximo que soporta es 15°.
- b. Se debe evitar cualquier contacto del cabezal vibrador con la armadura. El contacto entre estos puede provocar los siguientes problemas:
  - 1) El equipo puede dañarse
  - 2) Se pierde la adhesión del concreto a la armadura
- c. El resultado de la compactación depende de:
  - 1) El diámetro del cabezal vibrador
  - 2) Consistencia del concreto
  - 3) Tiempo de permanencia del cabezal vibrador en el concreto
  - 4) Densidad de la armadura
- d. Cuando el concreto ya esta satisfactoriamente compactado:
  - 1) Suben pocas o ninguna burbuja de aire
  - 2) El ruido del cabezal vibrador ya no cambia

**Figura 14.** Modo de empleo de un vibrador modular interno

3. **Costo de un vibrador interno modular.** En el mercado guatemalteco los precios actuales referentes a un vibrador interno modular son:

**Figura 15.** Tabla de costos de un vibrador interno modular

\* Precios en Quetzales (valores promedio del mercado guatemalteco para el primer semestre del año 2010)

	Precio*
Equipo nuevo	8,000.00 – 9,000.00
Equipo usado	6,000.00
Servicio menor	500.00 – 845.00
Servicio mayor	> 900.00

## G. Empresa constructora

La empresa constructora que sirvió de base para el presente documento y para la cual se hacen las propuestas presentadas más adelante es una compañía que se especializa en los trabajos de obra civil para proyectos de telecomunicaciones. Dichos proyectos consisten en la construcción de obras denominadas “sitios”, este nombre es acuñado por los clientes, es decir los operadores de telefonía celular.

1. **Tipos de sitios.** Actualmente se construyen tres tipos de sitios, los cuales son:

a. **Sitios Monoposte:** sitios en donde los equipos de radiofrecuencia se encuentran instalados en un poste sólido de concreto.

**Fotografía 1.** Sitio tipo monoposte



b. **Sitios Monopolo:** sitios en donde los equipos de radiofrecuencia se encuentra instalados en un poste (cilíndrico) metálico.

**Fotografía 2.** Sitio tipo monopolo



c. **Sitios de Torre Autosoportada:** sitios en donde los equipos de radiofrecuencia se encuentran instalados en una armadura metálica, denominada torre.

**Fotografía 3.** Torre autosportada



**Fotografía 4.** Sitio tipo de torre autosportada



2. **Presencia en la región.** Actualmente la empresa constructora cuenta con operaciones y oficinas administrativas en los siguientes países del istmo centroamericano:

- a. Guatemala
- b. El Salvador
- c. Honduras
- d. Nicaragua
- e. Panamá

3. **Maquinaria.** Con la finalidad de llevar a cabo exitosamente los proyectos es necesario que el área de operaciones cuente con los siguientes tipos de maquinaria:

- a. Vibradores internos modulares

- b. Mezcladoras de concreto
- c. Compactadoras
- d. Bombas de succión

4. **Operaciones.** La construcción de sitios se define particularmente por los siguientes criterios:

- a. **Duración:** 20-25 días (dependiendo del tipo de sitio)
- b. **Carga:** construcción de 8-10 sitios de forma simultánea
- c. **Asignación:** tras finalización de proyectos previos
- d. **Supervivencia y rentabilidad:** mayor volumen de trabajo (mayor número de sitios construidos en el menor tiempo posible)

5. **Activos existentes.** La compañía cuenta actualmente con los siguientes activos:

- a. 15 vibradores internos modulares (7 en operación y 8 inoperantes)
- b. 12 vehículos
  - 1) 5 camiones con capacidad máxima de 1 tonelada
  - 2) 2 camiones con capacidad máxima de 2.5 toneladas
  - 3) 5 camionetas tipo Pick-Up
- c. La maquinarias restantes utilizada en el área de operaciones (compactadoras, mezcladoras de concreto y bombas de succión) es arrendada.

6. **Planes de expansión.** Buscando el objetivo de aumentar la productividad y competitividad, la compañía tiene planeado restablecer los 8 vibradores internos modulares inoperantes para que el parque total de los mismos en operaciones sea de 15. Además se pretende adquirir los equipos ligeros de construcción que actualmente arrenda, es decir se compraran compactadoras, bombas de succión y mezcladoras de concreto (se planean comprar 15 de cada tipo para de esta forma tener grupos de maquinaria completos para cada proyecto). Por medio de esta compra se busca disminuir los tiempos de producción (construcción) y una disminución en los costos de operación. Al mismo tiempo se plantea la compra de 4 camiones de 2.5 tons, 3 camiones de 1 ton y 3 camionetas tipo Pick-Up adicionales.

## IV. JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE DEL TRABAJO

La existencia de un programa de mantenimiento y su realización adecuada permite que la maquinaria y los equipos utilizados en la industria operen de manera correcta, ejecutando las funciones para las que fueron adquiridos. La ausencia de un programa de este tipo en la mayoría de ocasiones representa un aumento de los tiempos muertos del equipo, productos de baja calidad, aumento de la cantidad de re-trabajos y/o rechazos, aumento en los costos de operación, pérdida de producción, poca efectividad, lo que inevitablemente conlleva a una merma en las ventajas competitivas de una organización perteneciente a cualquier industria. En la primera década del siglo XXI, luego de 4 generaciones de mantenimiento y cerca de 100 años de experiencia en el tema la falta de personal encargado de mantenimiento y de un programa que lo rija pueden ser indicativos de atrasos en el sector de industrial guatemalteco y mundial. Es por lo anterior que una empresa constructora debe contar con un plan de mantenimiento que le permita: optimizar la vida útil de sus equipos, reducir los paros programados y no programados, reducir los costos de mantenimientos (correctivos y preventivos), reducir imprevistos y garantizar el funcionamiento correcto de sus activos. Especialmente si desea contrarrestar los efectos negativos que produjo la crisis económica mundial más reciente, que tuvo un gran impacto en el sector de construcción.

La empresa constructora, especializada en labores de obra civil para proyectos de telecomunicaciones, que forma parte de este trabajo carece un departamento dentro de su organización que planee, dirija y controle el mantenimiento de sus activos. Cuentan con quince equipos ligeros para la construcción, una flotilla de 12 vehículos (cinco camiones de baja capacidad, 5 camionetas tipo Pick-U, 2 camiones). Además poseen planes de expansión para cumplir con sus futuros proyectos. Es por esto que desarrollar una propuesta para la creación de un Departamento de Mantenimiento y de un Plan de Mantenimiento para los equipos ligeros es algo indispensable si se pretende aumentar la productividad y competitividad nacional y regional de la empresa<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> Ver apéndice B para más información.

## **V. PROPUESTA DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO**

### **A. Misión**

Asegurar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos de la empresa por medio de un sistema de mantenimiento integral que optimice la utilización de recursos y proteja la seguridad personal y del medio ambiente.

### **B. Objetivos**

- Mantener la capacidad y funcionalidad de los equipos de la empresa en óptimas condiciones mediante la implementación de un plan de mantenimiento.
- Estabilizar y minimizar los costos de mantenimiento.
- Involucrar al personal de operaciones en actividades de mantenimiento.
- Mejorar el proceso de toma de decisiones proporcionando información exacta.
- Reducir al mínimo los tiempos muertos del equipo.
- Eliminar las condiciones que tienen como resultado la necesidad de realizar actividades de mantenimiento no planificadas y los tiempos muertos no programados.

### **C. Funciones**

- Programar y ejecutar actividades de mantenimiento para los equipos.
- Recopilar sistemáticamente la información relacionada con el estado, operación y mantenimiento de los equipos.
- Capacitar al personal de operaciones para éste pueda desempeñar actividades de mantenimiento básico.
- Reducir al máximo los mantenimientos no planificados y los tiempos muertos no programados.

## **D. Organización del departamento de mantenimiento**

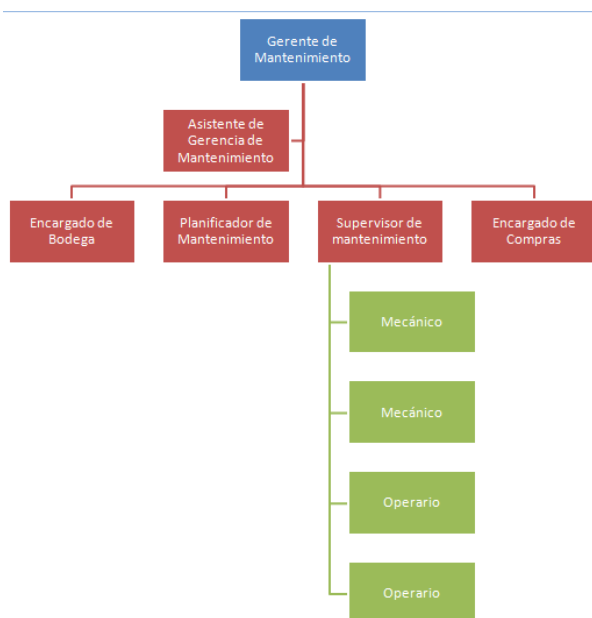
El departamento de mantenimiento cuenta con un número escaso de integrantes. Esto debido a que su filosofía es la de tener un nivel mínimo de personal de mantenimiento que sea consistente con la optimización del trabajo sin que se comprometa la seguridad de los procesos y de las personas. Esta sección cuenta con el siguiente personal:

- Gerente de mantenimiento
- Asistente de Gerente de mantenimiento
- Planificador y programador de actividades de mantenimiento
- Encargado de compras
- Bodeguero
- Supervisor de mantenimiento
- Mecánico de mantenimiento (2)

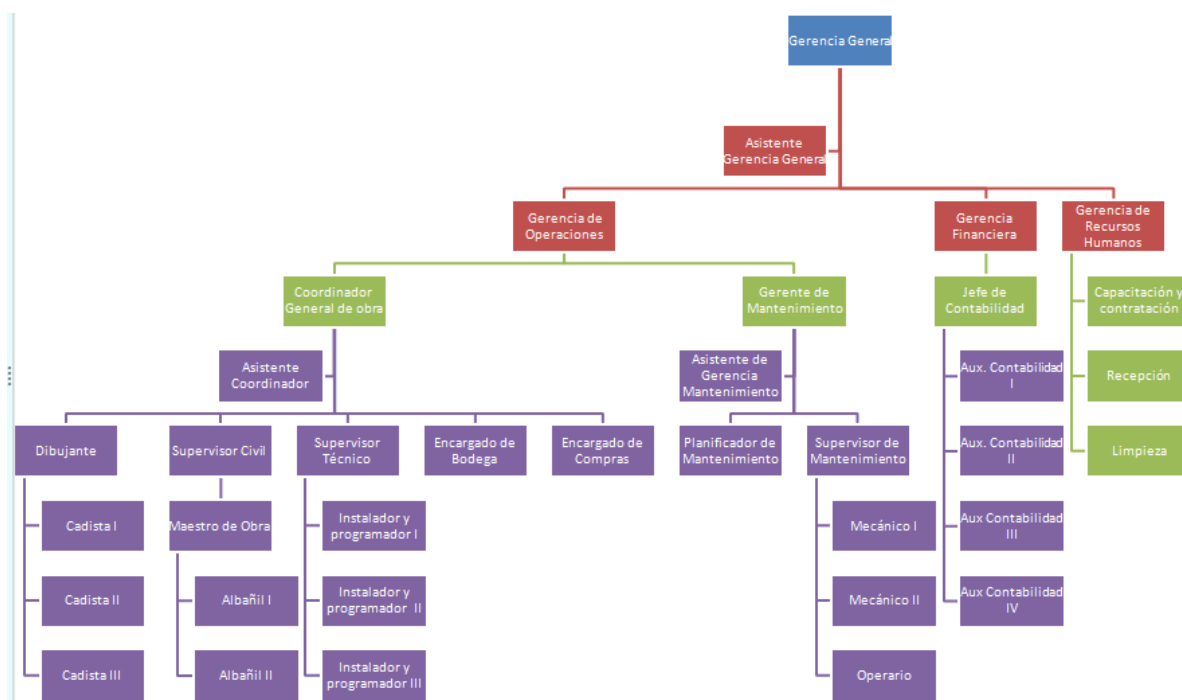
Este grupo de personas debe tener una interacción con el resto del personal de la empresa para poder cumplir de forma exitosas con sus funciones y objetivos. Además es por medio de la retroalimentación del personal de operaciones que los planes y actividades pueden rediseñarse con el fin de mejorar los procesos.

En la figura 16 se presenta el organigrama propuesto para el departamento y en la figura 17 se observa cómo quedaría este departamento nuevo dentro de la estructura actual organizacional.

**Figura 16.** Organigrama propuesto para el departamento de mantenimiento



**Figura 17.** Organigrama propuesto para el departamento de mantenimiento dentro de la empresa



## E. Descripción de los puestos de trabajo

### 1. Nombre del puesto: Gerente de mantenimiento

**Departamento:** Mantenimiento

**Jefe Inmediato:** Gerente de operaciones

#### a. Definición del puesto:

Líder del departamento de mantenimiento, es el canal de comunicación entre el área de mantenimiento y la gerencia de operaciones. Transmite los requerimientos de mantenimiento a la Gerencia y las directrices de Gerencia al departamento. Que los equipos cumplan con la disponibilidad y confiabilidad solicitada es su máxima responsabilidad. Es el principal asesor del Coordinador General de obra en cuanto a la utilización, capacidades, cambio de diseño de los equipos.

#### b. Responsabilidades del puesto:

- 1) Coordina los esfuerzos del personal de mantenimiento para que el sistema sea exitoso.
- 2) Dirige las acciones del personal de mantenimiento para que éstas sean congruentes con la misión y objetivos del departamento, así como también con la misión y objetivos de la organización.
- 3) Selecciona el personal del área de mantenimiento.
- 4) Su aprobación da por finalizadas las órdenes de mantenimiento.
- 5) Elabora y le da seguimiento a los programas de mantenimiento para los equipos.
- 6) Autoriza los pedidos de herramientas, repuestos y misceláneos que son dirigidos al Encargado de compras.
- 7) Autoriza las órdenes de compra para la adquisición de herramientas, repuestos y/o misceláneos.
- 8) Investiga nuevos procedimientos de mejora continua para las áreas mantenimiento y operaciones.
- 9) Asesora al Coordinador General de Obra en relación al uso, capacidades y diseño de los equipos.

**c. Requisitos del puesto:**

- 1) Ingeniero Mecánico, Ingeniero Mecánico Industrial o Ingeniero Mecánico Eléctrico.
- 2) Conocimientos de Administración de Mantenimiento Industrial.
- 3) Conocimientos de mantenimiento de maquinaria de construcción y de motores de combustión interna.
- 4) Aptitud para manejo de personal.
- 5) Características sobresalientes de líder.
- 6) Analítico.
- 7) Altamente proactivo.
- 8) Muy organizado con habilidad para la planificación.
- 9) Buena lectura y escritura del inglés.
- 10) Conocimientos de computación.
- 11) Manejo de software de diseño y lectura de planos.(Dibujo CAD e Inventor)
- 12) Experiencia deseable en el área.

**d. Salario propuesto:** Q7,000.00 mensuales.

**2. Nombre del puesto:** Asistente de Gerente de mantenimiento

**Departamento:** Mantenimiento

**Jefe Inmediato:** Gerente de mantenimiento

**a. Definición del puesto:**

Es el principal colaborador del Gerente de mantenimiento ya que lo apoya en todas las actividades que éste requiera. Representa al Gerente de mantenimiento en las actividades a las que éste no puede asistir.

**b. Responsabilidades del puesto:**

- 1) Cumple con todos los requerimientos del Gerente de mantenimiento.
- 2) Asiste a actividades a las cuales el Gerente de mantenimiento no puede asistir.

- 3) Supervisa el cumplimiento de las tareas asignadas por el Gerente de mantenimiento a los demás miembros del departamento.
- 4) Apoya al Gerente de mantenimiento en la elaboración y seguimiento de los planes de mantenimiento.
- 5) Apoya en la actualización los archivos históricos de los equipos.
- 6) Se encarga de las capacitaciones de los empleados.
- 7) Se encarga del control del inventario de los repuestos, herramientas e insumos.
- 8) Investiga nuevos procedimientos de mejora continua para las áreas mantenimiento y operaciones.

**c. Requisitos del puesto:**

- 1) Estudiante de 4to o 5to año de Ing. Mecánica, Ing. Mecánica Industrial o Ing. Mecánica Eléctrica.
- 2) Conocimientos de Mantenimiento Industrial.
- 3) Conocimientos de Administración.
- 4) Proactivo.
- 5) Organizado.
- 6) Buena lectura y escritura del inglés.
- 7) Conocimientos de computación.
- 8) Manejo de software de diseño y lectura de planos.(Dibujo CAD e Inventor)

**d. Salario propuesto:** Q2,500.00 mensuales.

**3. Nombre del puesto:** Encargado de compras (Puesto existente)

**Departamento:** Coordinación general de obra

**Jefe Inmediato:** Coordinador general de obra y Gerente de mantenimiento

**a. Definición del puesto:**

Profesional que recibe los pedidos de repuestos, herramientas, maquinaria e insumos que deben ser adquiridos para el cumplimiento de los trabajos tanto del área de

Mantenimiento como la de Coordinación General de Obra y además gestiona su compra en la prontitud requerida.

**b. Responsabilidades del puesto:**

- 1) Se encarga de cotizar las repuestos, herramientas, máquinas y/o insumos que le fueron pedidos por medio de una solicitud autorizada por el Gerente de mantenimiento.
- 2) Hace contactos con proveedores locales y extranjeros con el fin de obtener los productos de mayor calidad y economía.
- 3) Elaboración de órdenes de compra sujetas a la aprobación del Gerente de mantenimiento.
- 4) Se encarga de realizar las compras locales por medio de órdenes de compra aprobadas.
- 5) Se encarga de realizar las importaciones por medio de órdenes de compra aprobadas.

**c. Requisitos del puesto:**

- 1) Ingeniero Industrial o Licenciado en Administración de Empresas.
- 2) Altamente organizado.
- 3) Proactivo.
- 4) Buena lectura y escritura del inglés.
- 5) Conocimientos de computación.
- 6) Lenguaje técnico.
- 7) Habilidades de negociación.
- 8) Lectura de planos.

**d. Salario propuesto: Q3,000.00 mensuales.**

**4. Nombre del puesto:** Planificador y programador de mantenimiento**Departamento:** Mantenimiento**Jefe Inmediato:** Gerente de mantenimiento**a. Definición del puesto:**

Profesional que planifica y programas todas las actividades de mantenimiento de acuerdo a los planes establecidos. Su trabajo se basa en el plan elaborado por el Gerente de mantenimiento. Mantiene una relación estrecha con el Supervisor de Obra Civil con el fin de llevar un estricto control del uso de los equipos para determinar la frecuencia de las tareas de mantenimiento.

**b. Responsabilidades del puesto:**

- 1) Mantiene un estricto seguimiento del uso de los equipos (por medio de la tarjeta de tiempos) para luego poder determinar el momento indicado en el que debe realizarse una inspección o una actividad de mantenimiento. (Pronóstico de Carga)
- 2) Establece que equipos son designados a los grupos de trabajo de construcción en base al uso, desgaste y mantenimiento de los equipos.
- 3) Elabora las órdenes de trabajo para las actividades de mantenimiento en base a la frecuencia determinada de las labores y/o por pedido del personal.
- 4) Archiva órdenes de trabajo.
- 5) Actualiza Archivo histórico del equipo por medio de las órdenes de trabajo.
- 6) Asesora al Supervisor de Mantenimiento.
- 7) Asesora al Supervisor de Obra Civil en relación al uso, capacidades y diseño de los equipos.
- 8) Apoya en la actualización de archivos históricos.

**c. Requisitos del puesto:**

- 1) Egresado de nivel técnico en las áreas de mantenimiento industrial o mecánica industrial.
- 2) Altamente organizado.
- 3) Proactivo.

- 4) Excelentes habilidades de planeación.
- 5) Aptitudes de seguimiento y control.
- 6) Conocimientos de computación
- 7) Lectura de planos.
- 8) Experiencia en programación de mantenimiento.

**d. Salario propuesto:** Q4,000.00 mensuales.

**5. Nombre del puesto:** Supervisor de mantenimiento

**Departamento:** Mantenimiento

**Jefe Inmediato:** Gerente de mantenimiento

**a. Definición del puesto:**

Líder de los mecánicos de mantenimiento. Es la conexión entre la gerencia del departamento y el área técnica. Canaliza los esfuerzos del grupo de mecánicos en la consecución de las órdenes establecidas por la gerencia. Es el responsable del cumplimiento y calidad de las actividades de mantenimiento.

**b. Responsabilidades del puesto:**

- 1) Asigna las actividades de mantenimiento a los mecánicos.
- 2) Supervisa la correcta realización de los trabajos de mantenimiento.
- 3) Aprueba o rechaza los trabajos de mantenimiento.
- 4) Controla el cumplimiento de lo estipulado en las órdenes de trabajo.
- 5) Controla los tiempos para la realización de los trabajos.
- 6) Elabora el reporte de trabajos atrasados.
- 7) Apoya a los mecánicos.
- 8) Autoriza los egresos de repuestos, equipo, herramientas e insumos necesarios para realizar los trabajos de mantenimiento. (Autoriza MRs)
- 9) Elabora solicitudes de compra de repuestos, herramientas y/o insumos.
- 10) Elabora reportes de los trabajos realizados.
- 11) Asesora al Supervisor Civil.

**c. Requisitos del puesto:**

- 1) Egresado de nivel técnico en las áreas de mantenimiento industrial o mecánica industrial.
- 2) Líder con capacidad para expresarse verbalmente con claridad.
- 3) Capacidad para trabajar en equipo.
- 4) Independiente y con iniciativa.
- 5) Proactivo.
- 6) Altamente organizado.
- 7) Capacidad de análisis.
- 8) Conocimientos de computación.
- 9) Lectura de planos.
- 10) Experiencia en el área.

**d. Salario propuesto:** Q3,500.00 mensuales.

**6. Nombre del puesto:** Mecánico de mantenimiento

**Departamento:** Mantenimiento

**Jefe Inmediato:** Supervisor de mantenimiento

**a. Definición del puesto:**

Persona encargada de la realización de las actividades de mantenimiento establecidas en el plan. Ejecuta las indicaciones establecidas en las órdenes de trabajo. Junto al operario es la persona que mejor conoce el funcionamiento del equipo.

**b. Responsabilidades del puesto:**

- 1) Ejecutar las órdenes de trabajo asignadas por el Supervisor de Mantenimiento con los estándares de calidad requeridos.
- 2) Realizar las labores de mantenimiento en el tiempo establecido.
- 3) Asesorar al Planificador y Programador de Mantenimiento en posibles mejoras al sistema.

- 4) Elabora y actualiza el Listado de Piezas de cada equipo. (Listado para mantenimiento, reparación y operación)
- 5) En caso de urgencia ir a la obra para reparar el equipo o para llevar otro para que se pueda continuar con el proceso de producción.

**c. Requisitos del puesto:**

- 1) Egresado de nivel técnico en las áreas de mantenimiento industrial o mecánica industrial.
- 2) Capacidad para trabajar en equipo.
- 3) Capaz de seguir instrucciones.
- 4) Independiente y con iniciativa.
- 5) Proactivo y puntual.
- 6) Capacidad de análisis.

**d. Salario propuesto: Q2,800.00**

**7. Nombre del puesto:** Encargado de bodega

**Departamento:** Coordinación general de obra

**Jefe Inmediato:** Coordinador general de obra y Gerente de mantenimiento

**a. Definición del puesto:**

Encargado del ingreso de repuestos, herramientas e insumos a la bodega, así como también del egreso de los mismos en el momento que personal de mantenimiento u operaciones lo solicite por medio de órdenes autorizadas por los supervisores respectivos.

**b. Responsabilidades del puesto:**

- 1) Despacha los repuestos, herramientas y/o insumos a los mecánicos de mantenimiento.
- 2) Realiza los ingresos a bodega de los respectivos repuestos, herramientas e insumos.
- 3) Lleva un estricto control de la cantidad de materiales en bodega.

- 4) Indica al Planificador y Programador de Mantenimiento cuando los niveles mínimos de seguridad de materiales están por alcanzarse.
- 5) Suministra retroalimentación al Encargado de Compras para mantener el nivel de inventarios.

**c. Requisitos del puesto:**

- 1) Egresado de nivel medio.
- 2) Muy organizado.
- 3) Conocimientos de elementos y lenguaje técnico.
- 4) Conocimientos de computación.
- 5) Independiente y con iniciativa.
- 6) Capaz de seguir instrucciones.

**d. Salario propuesto: Q3,000.00**

**8. Nombre del puesto:** Operario

**Departamento:** Coordinación general de obra

**Jefe Inmediato:** Coordinador general de obra y Gerente de mantenimiento

**a. Definición del puesto:**

Persona encargada, en la obra, de poner en funcionamiento el equipo y de operarlo de acuerdo con las indicaciones del Supervisor Civil y el Mecánico. Realiza tareas de mantenimiento básicas pero que no pueden esperar hasta que el equipo regrese de la obra.

**b. Responsabilidades del puesto:**

- 1) Ejecutar las instrucciones del Supervisor Civil.
- 2) Poner en funcionamiento y operar el equipo.
- 3) Realizar tareas de mantenimiento básicas al equipo.
- 4) Velar por el correcto uso del equipo en la obra.

**c. Requisitos del puesto:**

- 1) Egresado de 6to Primaria.
- 2) Experiencia en el manejo de maquinaria.

- 3) Ayudante de albañil.
- 4) Con ganas de aprender.
- 5) Capacidad de realizar controles y reportes.
- 6) Capacidad para trabajar en equipo.

## F. Costos del departamento de mantenimiento

En las siguientes tablas se presentan los requerimientos económicos que demandaría la propuesta presentada anteriormente.

### 1. Activos existentes

**Figura 18.** Datos de vibradores internos modulares

Vibradores Internos Modulares	
Número de VIM	15
Servicios menores al año	8
Servicios mayores al año	4
Costo servicio menor	Q700.00
Costo servicio mayor	Q1,000.00

**Figura 19.** Datos de vehículos

Vehículos	
Número de camiones de 1 ton	5
Costo Servicio menor	Q1,200.00
Costo Servicio mayor	Q2,000.00
Número de camiones de 2.5 ton	2
Costo Servicio menor	Q1,500.00
Costo Servicio mayor	Q2,200.00
Número de camionetas Pick-Up	5
Costo Servicio menor	Q1,000.00
Costo Servicio mayor	Q1,500.00

## 2. Costos del departamento

**Figura 20.** Resumen de costos del departamento de mantenimiento

<b>Puesto</b>	<b>Salario</b>
Gerente de mantenimiento	Q7,000.00
Asistente Gerente de mantenimiento	Q2,500.00
Encargado de Bodega	Q3,000.00
Planificador de mantenimiento	Q4,000.00
Supervisor de mantenimiento	Q3,500.00
Encargado de compras	Q3,500.00
Mecánico 1	Q2,800.00
Mecánico 2	Q2,800.00
Gastos Administrativos	Q3,400.00
Insumos, herramientas y repuestos	Q9,600.00
<b>Costo Mensual del Depto. de Mant.</b>	<b>Q42,100.00</b>
<b>Costo Anual del Depto. de Mant.</b>	<b>Q505,200.00</b>

## 3. Costos actuales del mantenimiento realizado por terceras partes (outsourcing)

**Figura 21.** Costos del mantenimiento de los vibradores internos modulares

<b>Vibradores internos modulares</b>	
Servicios menores al mes por unidad	2
Servicios menores al año por unidad	20
Costo de servicio menor por unidad	Q800.00
Costo de servicios menores al mes por unidad	Q1,600.00

**Continuación Figura 21.** Costos del mantenimiento de los vibradores internos  
modulares

Costo de servicios menores al año por unidad	Q16,000.00
Costo de servicios menores al año del parque completo	Q240,000.00
Servicio mayores al año	4
Costo de servicio mayor por unidad	Q1,100.00
Costo de servicios mayores al año por unidad	Q4,400.00
Costo de servicios mayores al año del parque completo	Q66,000.00
<b>Costo de servicios anual totales para el parque completo</b>	<b>Q306,000.00</b>

**Figura 22.** Costos del mantenimiento de los camiones con capacidad de 1 tonelada

Camiones de 1 tonelada	
Servicios menores al mes por unidad	1
Servicios menores al año por unidad	8
Costo de servicio menor por unidad	Q1,350.00
Costo de servicios menores al mes por unidad	Q1,350.00
Costo de servicios menores al año por unidad	Q10,800.00
Costo de servicios menores al año del parque completo	Q54,000.00
Servicio mayores al año	4
Costo de servicio mayor por unidad	Q2,500.00

**Continuación Figura 22.** Costos del mantenimiento de los camiones con capacidad de 1 tonelada

Costo de servicios mayores al año por unidad	Q10,000.00
Costo de servicios mayores al año del parque completo	Q50,000.00
<b>Costo de servicios anual totales para el parque completo</b>	<b>Q104,000.00</b>

**Figura 23.** Costo del mantenimiento de los camiones con capacidad para 2.5 tons

Camiones de 2.5 toneladas	
Servicios menores al mes por unidad	1
Servicios menores al año por unidad	8
Costo de servicio menor por unidad	Q1,600.00
Costo de servicios menores al mes por unidad	Q1,600.00
Costo de servicios menores al año por unidad	Q12,800.00
Costo de servicios menores al año del parque completo	Q25,600.00
Servicio mayores al año	4
Costo de servicio mayor por unidad	Q2,600.00
Costo de servicios mayores al año por unidad	Q10,400.00
Costo de servicios mayores al año del parque completo	Q20,800.00
<b>Costo de servicios anual totales para el parque completo</b>	<b>Q46,400.00</b>

**Figura 24.** Costos del mantenimiento de las camionetas tipo Pick-Up

<b>Camionetas Tipo Pick-Up</b>	
Servicios menores al mes por unidad	1
Servicios menores al año por unidad	8
Costo de servicio menor por unidad	Q1,150.00
Costo de servicios menores al mes por unidad	Q1,150.00
Costo de servicios menores al año por unidad	Q9,200.00
Costo de servicios menores al año del parque completo	Q46,000.00
Servicio mayores al año	4
Costo de servicio mayor por unidad	Q1,900.00
Costo de servicios mayores al año por unidad	Q7,600.00
Costo de servicios mayores al año del parque completo	Q38,000.00
<b>Costo de servicios anual totales para el parque completo</b>	<b>Q84,000.00</b>

**Figura 25.** Resumen de Costos anuales de mantenimiento actual

<b>Costo de servicios anual totales para el parque completo de vibradores</b>	<b>Q306,000.00</b>
<b>Costo Total Anual de Mantenimiento de Vehículo</b>	<b>Q234,400.00</b>
<b>Costo Total del Mantenimiento Actual</b>	<b>Q540,400.00</b>

#### 4. Costos totales del mantenimiento luego de la expansión (si éste se realizara por medio de outsourcing)

**Figura 26.** Resumen de costos anuales de mantenimiento luego de expansión

<b>Costo de servicios anual totales para el parque completo de vibradores, bombas y compactadoras</b>	<b>Q918,000.00</b>
<b>Costo Total del Mantenimiento Actual</b>	<b>Q918,000.00</b>

\*NOTA: el precio del mantenimiento para los vibradores, bombas y compactadores es el mismo.

La realización de los trabajos de mantenimiento por parte de una rama de la empresa abarataría los costos de mantenimiento total en un 7% anual, adicional a la ventaja competitiva y productiva de tener la certeza de que los equipos se desempeñarán correctamente sin afectar negativamente los tiempos de entrega.

## G. Métodos de control del departamento de mantenimiento

Como se mencionó previamente una parte de suma importancia en la administración científica del mantenimiento es el control. El objetivo del sistema de mantenimiento presentado en este documento es aumentar las ventajas productivas y competitivas de la organización por medio de un incremento en la disponibilidad y confiabilidad de los equipos. Esto es posible únicamente si se utilizan métodos de control en relación a calidad, costos, personal, tiempos, etc. La necesidad de estos métodos surge del hecho de que un mantenimiento con deficiencias en uno más de los factores antes mencionados representa una merma en las ventajas competitivas. A continuación se presentan los métodos de control propuestos:

**1. Control del equipo.** Es necesario determinar que activos entran dentro de la dirección del Departamento de Mantenimiento, cuáles deben incluirse en el plan y programación del mantenimiento. Para esto se utilizan los siguientes métodos.

a. **Codificación del equipo.** Con el objetivo de crear archivos en donde se contenga el historial del equipo y de tener un mejor control de los equipos en obra es necesario que los mismos cuenten con un distintivo particular que los identifique individualmente y además los integre al sistema de mantenimiento. Se propone un sistema de codificación alfanumérico para los equipos ligeros de construcción. Los campos contenidos en cada código son los siguientes:

1) País de la región. Esto es necesario porque en ocasiones cuando un proyecto lo demanda se requiere la cooperación en materia de recursos (personal y equipo) de otros países. La abreviaturas son:

**Figura 27.** Abreviaturas por país de operación

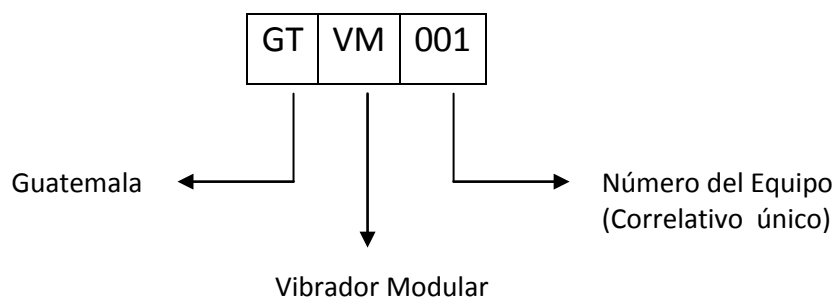
País	Abreviatura
Guatemala	GT
El Salvador	ES
Honduras	HN
Nicaragua	NI
Costa Rica	CR
Panamá	PN

2) Tipo de máquina. Actualmente se cuenta con solo vibradores internos modulares.

3) Identificador correlativo único.

En la figura 28 se presenta un ejemplo de la codificación propuesta:

**Figura 28.** Propuesta de Codificación del Equipo



**b. Listado maestro de equipos.** Para mejorar el control es necesario elaborar un listado de equipos con el cual se tiene al alcance toda la información técnica de toda la maquinaria de la organización. Esto reduce los tiempos de análisis de equipos, cotización de repuestos, entre otros, además sirve para la creación de identificadores. Este listado maestro debe ser actualizado cada vez que ingresa un equipo nuevo a la organización o en caso contrario cuando una máquina es retirada de operaciones. En la figura 29 se presenta el listado de maquinaria propuesto.

**Figura 29.** Propuesta de listado maestro de equipos

LISTADO MAESTRO DE EQUIPOS												
Item	Código	Tipo	Vibrador				Motor					
			Fabricante	Modelo	No. Serie	Año	Fabricante	Modelo	Tipo	Código	Potencia	Combustible
1	GT-VM-001	Vibrador Modular Interno	<del>Wacker</del> <del>Neuson</del>	B3000	58290247	97	<del>Briggs &amp;</del> <del>Stratton</del>	135232	0217-01	951122YA	5 HP	Gasolina
2	GT-VM-002	Vibrador Modular Interno	<del>Wacker</del> <del>Neuson</del>	B3000	50126623	98	<del>Briggs &amp;</del> <del>Stratton</del>	135232	1217-E1	980617YA	5 HP	Gasolina
3	GT-VM-003	Vibrador Modular Interno	<del>Wacker</del> <del>Neuson</del>	B3000	58290237	97	<del>Briggs &amp;</del> <del>Stratton</del>	135232	0217-01	951122YB	5 HP	Gasolina
4	GT-VM-004	Vibrador Modular Interno	<del>Wacker</del> <del>Neuson</del>	B3000	58290239	97	<del>Briggs &amp;</del> <del>Stratton</del>	135232	0217-01	951122YB	5 HP	Gasolina
5	GT-VM-005	Vibrador Modular Interno	<del>Wacker</del> <del>Neuson</del>	B3000	58290250	97	<del>Briggs &amp;</del> <del>Stratton</del>	135232	0217-01	951122YD	5 HP	Gasolina
6	GT-VM-006	Vibrador Modular Interno	<del>Wacker</del> <del>Neuson</del>	B3000	50126628	98	<del>Briggs &amp;</del> <del>Stratton</del>	135232	1217-E1	980617YA	5 HP	Gasolina
7	GT-VM-007	Vibrador Modular Interno	<del>Wacker</del> <del>Neuson</del>	B3000	50126630	98	<del>Briggs &amp;</del> <del>Stratton</del>	135232	1217-E1	980617YA	5 HP	Gasolina
8	GT-VM-008	Vibrador Modular Interno	<del>Wacker</del> <del>Neuson</del>	B3000	50126627	98	<del>Briggs &amp;</del> <del>Stratton</del>	135232	1217-E1	980617YA	5 HP	Gasolina
9	GT-VM-009	Vibrador Modular Interno	<del>Wacker</del> <del>Neuson</del>	B3000	50126640	98	<del>Briggs &amp;</del> <del>Stratton</del>	135232	1217-E1	980617YC	5 HP	Gasolina
10	GT-VM-010	Vibrador Modular Interno	<del>Wacker</del> <del>Neuson</del>	B3000	50126655	98	<del>Briggs &amp;</del> <del>Stratton</del>	135232	1217-E1	980617YC	5 HP	Gasolina

**c. Tarjeta individual del equipo.** Cada equipo en el listado maestro debe tener también una tarjeta única en donde se resumen sus datos y especificaciones técnicas. La existencia de esta tarjeta podría parecer obsoleta al tener el listado maestro pero su finalidad es estar agregada al archivo histórico.

**Figura 30.** Propuesta de tarjeta individual del equipo

Tarjeta Individual	
Código equipo	G – VM -001
Tipo de equipo	Vibrador Modular Interno
Factores críticos	Cojinetes, árbol flexible
Fabricante	Wacker Neusson, Briggs & Stratton
Modelo	B3000
Número de serie	582902447
Potencia nominal	5 hp (3.7 kW)
Fecha de adquisición	2008
Costo	

**d. Archivo histórico del equipo**

Es un documento único por equipo en donde se registrara toda la información acerca de:

- 1) Todos los trabajos realizados en el equipo
  - a) Inspecciones
  - b) Mantenimiento
  - c) Reparaciones
- 2) Momento de fallas
- 3) Posible razón de fallas
- 4) Tiempo muerto
- 5) Repuestos utilizados
- 6) Costo de las reparaciones



## 2. Control del trabajo

**a. Órdenes de trabajo (OT).** Documento en donde se puntualizan las instrucciones, de manera escrita, para la actividad de mantenimiento que se va a realizar. Permite saber donde se están utilizando los recursos y con qué finalidad. Una OT debe contener los siguientes aspectos:

- 1) Número para su identificación inequívoca
- 2) Fecha de solicitud del trabajo
- 3) Código del Equipo
- 4) Persona y puesto que solicita la realización del trabajo
- 5) Persona y puesto que autoriza la realización del trabajo
- 6) Persona designada para realizar el trabajo
- 7) Prioridad del trabajo
- 8) Descripción del trabajo a realizar
- 9) Tiempo estándar en el que la tarea debe ser completada
- 10) Persona responsable de la supervisión, terminación y calidad del trabajo
- 11) Repuestos, materiales, herramientas e insumos
- 12) Referencia a instrucciones (Rutinas existentes)
- 13) Tiempo estimado de realización
- 14) Tiempo total real de realización
- 15) Costo por materiales, repuestos e insumos (MRI)
- 16) Costo por tiempo del ejecutor de la OT
- 17) Fecha de iniciación de la OT
- 18) Fecha de terminación de la OT
- 19) Fecha de aprobación de la OT

En la figura 32 se muestra un ejemplo de una Orden de Trabajo.

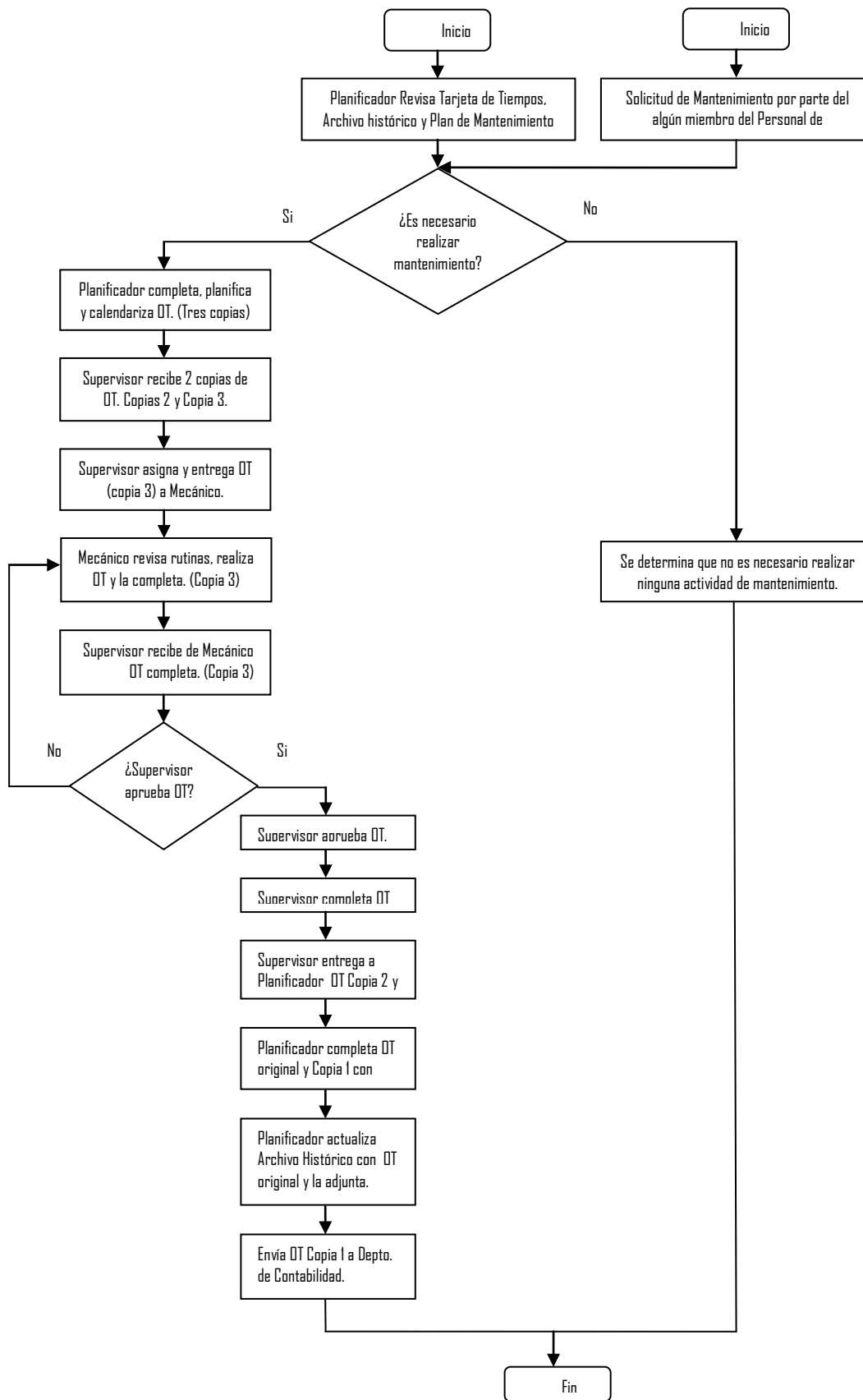


1) **Flujo de la OT.** El flujo que debe realizar que debe seguir una OT desde su solicitud hasta su aprobación y anexión al Archivo Histórico es el siguiente:

- a) El Planificador revisa la Tarjeta de Tiempos, el Archivo Histórico y el Plan de Mantenimiento del equipo para determinar si existe la necesidad de programar alguna actividad. (El planificador puede recibir una solicitud de mantenimiento. Analiza la procedencia de la misma y viabilidad.)
- b) El Planificador completa, planifica y calendariza la OT. Elabora tres copias y entrega dos copias (Copia 2 y Copia 3) al Supervisor de Mantenimiento.
- c) El Supervisor asigna a un mecánico para ejecutar la OT y a éste le entrega la Copia 3.
- d) El mecánico revisa las rutinas mencionadas en la OT, realiza las tareas designadas y completa la información correspondiente en la OT (Copia 3).
- e) El mecánico entrega la OT (Copia 3) llena al Supervisor.
- f) El Supervisor supervisa la actividad de mantenimiento realizada, revisa la información escrita por el mecánico y aprueba la orden. Luego completa la Copia 2 con la orden que le dio el mecánico. El Supervisor se queda con una copia para control y entrega la otra al Planificador.
- g) El planificador completa la OT original con la información suministrada por el Supervisor.
- h) La OT original le queda al Planificador para control de su trabajo, una copia se va al Departamento de Contabilidad y la otra se anexa al Archivo Histórico del Equipo. En caso de que el solicitante lo requiera se puede extender una tercera copia como confirmación de que el trabajo fue realizado.

En la figura 33 se muestra el flujo que sigue una OT.

Figura 33. Diagrama de flujo de una OT





**c. Reporte de trabajos pendientes.** Este es un documento en donde el Supervisor de Mantenimiento indica la cantidad de trabajos pendientes y la razón de estos pendientes. Es necesario definir un rango aceptable de trabajos pendientes, cualquier reporte que presente número por debajo o por encima de éste es un indicativo de la necesidad de acciones correctivas. Por ejemplo: si los trabajos pendientes son pocos se puede considerar reducir la fuerza laboral o la transferencia entre departamentos, en caso contrario si el número de trabajos pendientes es elevado se puede laborar horas extras o subcontratar personal de mantenimiento.

**d. Tarjeta de tiempos.** Debido a que los equipos no cuentan con dispositivos que midan la cantidad de horas trabajadas, es indispensable utilizar otro recurso que permita definir el uso que se le ha dado a cada equipo. Esto con el fin de poder establecer de forma precisa cuando es necesario realizar una actividad de mantenimiento. Para esto propone la utilización de un documento que contenga los siguientes aspectos:

- 1) Código de equipo
- 2) Fecha de salida
- 3) Nombre de obra (sitio de construcción)
- 4) Hora de inicio de operación
- 5) Hora de finalización de operación
- 6) Operario encargado de equipo en la obra

Esta tarjeta presenta en la figura 35 y debe ir con el equipo a todas las obras sin excepción para que el operario encargado de la maquinaria anote la información respectiva. Debe llenarse una tarjeta por cada salida del equipo, además el planificador posee otra Tarjeta de tiempos más general y que contenga datos de varias obras. Esta segunda tarjeta se presenta en la figura 38 determina cuando se alcanza la frecuencia para una actividad de inspección y/o de mantenimiento.

**Figura 35.** Propuesta de tarjeta de tiempos del equipo para ser completada en obra

Tarjeta de tiempos del equipo			
Código del equipo .....	Tipo de equipo .....		
Fecha de salida .....	Nombre de la obra .....		
Fecha de entrada .....	Nombre encargado .....		
Operación del equipo			
No. de día trabajado	Hora de Inicio del trabajo	Hora de finalización del trabajo	Horas trabajadas
<b>Total horas trabajadas en obra</b>			
Verificación del nivel de aceite			
Hora	Alto	Bajo	Acción

**Figura 36.** Propuesta de tarjeta de tiempos del equipo para ser completada por el planificador

Tarjeta de tiempos del equipo (Control departamento)			
Código del equipo .....		Tipo de equipo .....	
Fecha de entrada	Nombre de la obra	Horas totales trabajadas	Acumulativo de horas trabajadas
		<b>Total horas trabajadas en obra</b>	

**e. Estimación de tiempos.** Para poder controlar la productividad de los mecánicos es necesario establecer estándares de trabajo en cuanto al tiempo. Esto quiere decir que se determinará el tiempo normal que toma realizar una tarea específica. Para poder hacer estos existen diversas técnicas, de las cuales podemos mencionar:

- 1) Estudio de tiempos
- 2) Tiempos predeterminados
- 3) Estimación de tiempos globales

Esto se hace con el objetivo de definir estándares para que a través de éstos se tenga un mejor control de la actividad de un mecánico. Sin estos estándares es imposible completar las OTs, además son una herramienta por medio de la cual se les exige a los trabajadores. Se propone la estimación de tiempos globales por la facilidad de su aplicación y el tiempo relativamente corto que necesita para llevarse a cabo.

**f. Listas de verificación.** Documentos utilizados en las inspecciones que facilitan la anotación de observaciones y comentarios. Estas listas deben contener:

- 1) Nombre del artículo(s) a inspeccionar
- 2) Condición del artículo a inspeccionar
- 3) Acción que se debe realizar luego de la inspección
- 4) Comentarios acerca de lo observado y/o realizado

Las listas de verificación no pueden entregarse por si solas, deben ir acompañadas de una OT en la que se especifica la información presentada anteriormente. En la figura 39 se muestra una propuesta de lista de verificación para la realización de inspecciones.

**Figura 37.** Propuesta de Lista de verificación para inspecciones (Checklist)

LISTA DE VERIFICACIÓN (CHECKLIST)								
Código equipo ..... .....					Realizada por ..... .....			
Fecha de inspección ..... .....					Supervisada y aprobada por ..... .....			
No.	Artículo	Buena	Satisfactoria	Deficiente	Requiere limpieza	Requiere lubricación	Requiere Cambio	Comentario
1	Cuerda de arranque							
2	Nivel de aceite							
3	Nivel de combustible							
4	Pieza de acoplamiento del árbol flexible							
5	Filtro de aire							
6	Alma del árbol flexible							
7	Parachispas del escape							
8	Cabezal vibrador							
9	Sellos y anillo retenedor							
10	Bujía							

**3. Control de inventarios.** Mantener de forma adecuada y correcta requiere una significativa cantidad de recursos del departamento, además la eficiencia y efectividad del mismo afectan directamente las actividades de mantenimiento. A consecuencia de lo anterior nace la necesidad de emplear control estricto del inventario, algunas técnicas para esto se presentan a continuación:

**a. Listado de piezas.** Es necesario determinar que repuestos, piezas, materiales e insumos son necesarios para restablecer un equipo a condiciones idóneas de operación, cuáles se encuentran en la bodega de repuestos y cuáles no. Para realizar este listado se recomienda consultar los manuales de operación y mantenimiento, a operarios con experiencia, expertos sobre los equipos en cuestión, información de estándares, normas internacionales, entre otros. En el ámbito del mantenimiento un listado de este tipo recibe el nombre de lista de piezas de mantenimiento, reparación y operación (LMRO). El LMRO contiene básicamente los siguientes aspectos:

- 1) Equipo
- 2) Componentes
  - a) Código
  - b) Descripción
  - c) Fabricante
  - d) Factor crítico
  - e) Número de componentes que utiliza el equipo
  - f) Se encuentra normalmente en bodega
  - g) Costo por unidad
  - h) Comentarios



Luego de realizar el análisis ABC el siguiente paso es evaluar cada repuesto en términos de su grado o factor crítico. El criterio para realizar esta evaluación es el siguiente:

- 1) **Factor  $C_A$  (altamente crítico):** repuestos que son absolutamente indispensables para la operación del equipo.
- 2) **Factor  $C_B$  (moderadamente crítico):** repuestos que poseen un efecto de ligero a moderado en la operación del equipo en caso de que no se encuentren en existencia.
- 3) **Factor  $C_C$  (bajo grado crítico):** repuestos que no son esenciales en lo absoluto para la operación del equipo.

Es necesario analizar los repuestos de acuerdo con su costo y grado crítico. Las clasificaciones según estos factores se realizan mediante la siguiente tabla.

**Figura 39.** Matriz para estrategia de pedidos.

	$C_A$	$C_B$	$C_C$
A	1	1	2
B	1	2	2
C	3	3	3

La matriz anterior se utiliza para determinar qué estrategia de pedidos se debe seguir según el repuesto a solicitar, las estrategias se presentan a continuación.

**1) Estrategia 1:** Si al repuesto analizado le corresponde una clasificación de 1 la estrategia debe ser mantener un cantidad de piezas en existencia. En el momento de que ocurre una falla se debe pedir el reemplazo para el repuesto que fue utilizado. Es una práctica común tener una unidad adicional como seguridad.

**2) Estrategia 2:** Si al repuesto analizado le corresponde una clasificación de 2, se puede utilizar el modelo del Tamaño de lote económico (EOQ), además de mantener una existencia de seguridad que compense la demanda durante el tiempo de entrega.

**3) Estrategia 3:** Si al repuesto analizado le corresponde una clasificación de 3, quiere decir que es de bajo costo y puede ser mantenido en la bodega sin que sufra daños. En

caso de que el tiempo de entrega sea largo o difícil de definir se recomienda realizar un pedido considerablemente mayor al necesario. Esto no es un problema ya que son repuestos de bajo costo.

**b. Salida de materiales (MR).** Para poder llevar a cabo una tarea de mantenimiento es indispensable que el Mecánico cuente con los repuestos, herramientas y materiales adecuados para la actividad que va a realizar. Los repuestos y materiales deben estar en existencia en bodega, es por esto que nace la necesidad de tener un documento a través del cual se soliciten éstos. Este documento recibe el nombre de Solicitud de Materiales o MR<sup>10</sup> y es completada por el Mecánico de mantenimiento luego que este consultó la OT y las Rutinas de Mantenimiento. El bodeguero acepta y cumple únicamente con las MRs que están aprobadas por el Supervisor de Mantenimiento. En la figura 42 se muestra un ejemplo de una MR.

**Figura 40.** Propuesta de solicitud de materiales (MR)

Solicitud de material (MR)		
Número de solicitud.....	Solicitada por.....	
Fecha.....	Aprobada por .....	
No. Item	Descripción	Comentario
_____ Nombre y firma de quien entrega		_____ Nombre y firma de quien recibe

<sup>10</sup> De sus siglas en inglés; Material Request

**4. Parámetros de medición del desempeño (estadísticas).** El control del departamento de mantenimiento no debe limitarse a los documentos de control presentados anteriormente, es crucial que el administrador del mantenimiento científico disponga de parámetros que le permitan medir el desempeño del área. En la actualidad no se ha llegado a un consenso en cuanto a cuál es el número de parámetros que un administrador debe medir, a continuación se proponen los de uso común que son aplicables al contexto del presente documento así como también la propuesta del valor mínimo, rango o valor máximo (según sea el caso) que estos índices pueden alcanzar. El cálculo realizado para estas metas se basa en los siguientes datos que representa un estimado de una actividad de mantenimiento menor:

**Figura 41.** Estimaciones de costos de mantenimiento

Cuerda	Q 45.00
Bujía	Q 50.00
Aceite	Q 35.00
Filtro de aire	Q 40.00
Limpiador sin hilachas	Q 5.00
Combustible	Q 20.00
Tiempo de realización	3 horas
Costo mano de obra por hora	Q 12.50
Costos MRI	Q 195.00 (Q200.00 aprox.)
Costo mano de obra	Q 37.50
Costo total Mantenimiento	Q 232.50 (Q250.00 aprox.)

**a. Administración del mantenimiento**

**i. Órdenes de trabajo realizadas vs. Programadas**

$$\% = \frac{\text{Órdenes de trabajo totales ejecutadas}}{\text{Órdenes de trabajo programadas}} \times 100$$

**Meta:** Arriba del 95%.

**ii. Horas programadas vs. horas trabajadas**

$$\% = \frac{\text{Horas totales programadas}}{\text{Horas totales trabajadas}} \times 100$$

**Meta:** Arriba del 98%

**iii. Horas subcontractadas por mes**

$$\% = \frac{\text{Horas subcontractadas totales al mes}}{\text{Horas totales trabajadas}} \times 100$$

**Meta:** Menor al 5%

**iv. Horas de tiempo extra por mes**

$$\% = \frac{\text{Horas de tiempo extra totales trabajadas}}{\text{Horas totales trabajadas}} \times 100$$

**Meta:** Menor del 3%

**v. Trabajos pendientes totales semanales**

$$\% = \frac{\text{Horas de mano de obra de trabajo totales en espera de ejecución}}{\text{Horas – hombre de una semana}} \times 100$$

**Meta:** Superior al 95%

**vi. Utilización de los trabajadores**

$$\% = \frac{\text{Horas consumidas en trabajo productivo}}{\text{Horas totales programadas para trabajo}} \times 100$$

**Meta:** superior al 98%

**b. Eficacia del mantenimiento**

**i. Disponibilidad**

$$A = \frac{\text{Tiempo de producción planeado} - \text{Tiempo muerto no planeado}}{\text{Tiempo de producción planeado}}$$

**Meta:** Superior al 95%

**ii. Porcentaje de horas brutas de operación**

$$\% = \frac{\text{No. de horas brutas de operación}}{\text{No. de horas brutas de operación} + \text{Tiempo muerto programado}} \times 100$$

**Meta:** Superior al 95%

**iii. Número de fallas en el sistema**

$$NFS = \frac{\text{Número de paros de producción}}{\text{Número de horas brutas de operación}}$$

**Meta:** Menor al 5%

**iv. Tiempo muerto del equipo no programado (fallas)**

$$\% = \frac{\text{Tiempo muerto causado por fallas}}{\text{Tiempo muerto total}} \times 100$$

**Meta:** Menor al 5%

**v. Horas-hombre emergencia**

$$\% = \frac{\text{Horas hombre consumidas en trabajos de emergencia}}{\text{Horas totales trabajadas en mantenimiento directo}} \times 100$$

**Meta:** Menor al 3%

**c. Costos de mantenimiento**

**i. Componente de fuerza laboral en el costo de mantenimiento**

$$\% = \frac{\text{Fuerza laboral total de mantenimiento}}{\text{Costo total de mantenimiento directo}} \times 100$$

**Meta:** Entre un 30% - 40%

**ii. Costo de mantenimiento subcontratado**

$$\% = \frac{\text{Costo de subcontratación}}{\text{Costo total del mantenimiento directo}} \times 100$$

**Meta:** Menor al 5%

**iii. Proporción de costo de mando de obra con respecto al costo de materiales de mantenimiento**

$$\text{Proporción} = \frac{\text{Costo total de mano de obra de mantenimiento}}{\text{Costo total de materiales de mantenimiento}}$$

**Meta:** Entre 20% - 25%

**iv. Costo de hora de mantenimiento**

$$Q = \frac{\text{Costo total de mantenimiento}}{\text{Horas hombre totales trabajadas}}$$

**Meta:** Q84.00

**v. Tasa de rotación de inventario por año**

$$\text{Tasa Rotación} = \frac{\text{Costo de consumo anual}}{\text{Inversión promedio en inventario}}$$

**Meta:** Mayor o igual a 1.

**vi. Costo de repuestos y materiales con respecto al costo de mantenimiento**

$$\% = \frac{\text{Salidas y compras totales de bodega}}{\text{Costo total del mantenimiento directo}} \times 100$$

**Meta:** Entre un 60% - 70%

## V. PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA VIBRADORES MODULARES INTERNOS

Para que el plan de mantenimiento que se presenta a continuación sea exitoso es indispensable que todo el personal de esta área siga los procedimientos establecidos, que utilice las herramientas y materiales adecuados al momento de realizar alguna actividad. Es a través del uso correcto de estos que se alcanzan las metas y se evitan lesiones al personal y/o a los equipos. El plan de mantenimiento propuesto consta de los siguientes elementos:

### A. Actividades

**1. Inspecciones.** Son revisiones periódicas que permiten detectar fallas potenciales. La inspección debe ser minuciosa y la persona que realiza la inspección debe anotar todo lo observado en las listas de verificaciones. En la figura 44 se presenta las inspecciones a realizar junto con su frecuencia.

**Figura 42.** Propuesta de inspecciones y sus respectivas frecuencias

		Frecuencia
No.	Descripción	Horas
1	Estado de la cuerda de arranque	10
2	Controlar el nivel de aceite	2
3	Controlar el nivel de combustible	2
4	Estado de la pieza de acoplamiento del árbol flexible	20
5	Estado del filtro de aire	25
6	Estado del alma del árbol flexible	40
7	Estado del parachispas del escape	40
8	Dimensiones del cabezal vibrador	40

**Continuación Figura 42.** Propuesta de inspecciones y sus respectivas frecuencias

No.	Descripción	Horas
9	Estado de los sellos de los rodamientos del cabezal vibrador	40
10	Estado de la bujía	40
11	Estado de los rodamientos del cabezal vibrador	180
12	Estado del rodamiento del cigüeñal	180
13	Verificación del tiempo del motor	180
14	Estado de las poleas y banda	180
15	Estado del salpicador de aceite	180
16	Estado del gobernador	180

**2. Actividades mantenimiento preventivo.** Uno de los objetivos principales del presente documento es la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para los equipos analizados a lo largo del documento. En este apartado se presentan la lista de las actividades planificadas a realizar y su frecuencia. Como se mencionó anteriormente la finalidad de llevar a cabo todas estas labores es la de aumentar la disponibilidad y confiabilidad de los vibradores modulares internos.

**Figura 43.** Propuesta de actividades MP y sus respectivas frecuencias

No.	Descripción	Frecuencia
1	Ajustar el asiento entre el alma y el adaptador en el cabezal vibrador	10
2	Cambio de aceite del motor	20

**Continuación Figura 43.** Propuesta de actividades MP y sus respectivas frecuencias

No.	Descripción	Horas
3	Limpieza del filtro de aire	50
4	Limpieza de la copa de sedimentos	80
5	Limpieza del parachispas	80
6	Cambio de aceite del cabezal vibrador	80
7	Cambio de sellos y anillo retenedor del cabezal vibrador	80
8	Lubricar el alma del árbol flexible	80
9	Limpieza de la bujía	100
10	Limpieza del tanque de combustible	100
11	Cambio del filtro de aire <sup>11</sup>	100
12	Cambio de bujía	250
13	Limpieza del carburador	250
14	Limpieza de cámara de combustión	340
15	Cambio de anillos	340
16	Cambio de rodamiento del cigüeñal	340
17	Cambio de rodamientos del cabezal vibrador	340
18	Cambio de mangueras de combustible	340
19	Existencia del juego de válvulas	340

<sup>11</sup> Se proponen cambios en el diseño para mejorar el control de sustitución. (Manómetro)

**3. Rutinas.** Para optimizar el trabajo y el control del mismo, es necesario establecer rutinas de las actividades de inspección y de mantenimiento. De esta forma se establece un procedimiento detallado a seguir, se crean estándares de trabajo y de tiempo. Las rutinas propuestas para las actividades listas en las figuras 42 y 43 se encuentran en el apéndice.

**4. Registro y análisis de fallas.** La ausencia de información acerca de las fallas que ha tenido determinado equipo a lo largo del tiempo de operación imposibilita la aplicación de las formulaciones científicas del mantenimiento. Es por esto que es indispensable contar con un sistema de registro de fallas, sus posibles causas y soluciones. Todo esto con el fin de poder realizar una verdadera administración científica del mantenimiento aplicando las formulaciones presentadas en la figura 6 y 7. En la figura 45 se presente la propuesta de la tabla de registro de fallas que se debe adjuntar siempre al archivo histórico del equipo.

**Figura 44.** Propuesta de tabla de registro y análisis de fallas

Registro y análisis de fallas	
Código equipo .....	Tiempo funcionando antes de falla .....
Fecha de la falla .....	Nombre de obra .....
Hora de la falla .....	Encargado del equipo.....
<b>Descripción y consecuencias del fallo(s)</b>	
<b>Posibles causas del fallo(s)</b>	
<b>Posibles solución(es)</b>	
Fecha creación registro.....	Registro supervisado por.....
Registro realizado por.....	Registro aprobado por.....

## VI. CONCLUSIONES

- A.** La ausencia de un plan de mantenimiento y un sistema que lo planee, dirija y controle tiene consecuencias negativas en los equipos y maquinaria de cualquier organización. Reduce la vida útil de los mismos, disminuye su disponibilidad y confiabilidad lo que conlleva bajas en la productividad, productos de menor calidad y baja o nula competitividad.
- B.** La inexistencia del historial de los equipos de la organización incapacita cualquier intento de emplear métodos estadísticos al control del mantenimiento.
- C.** La simplicidad de los equipos analizados facilitó la elaboración del plan de mantenimiento preventivo. Esta simplicidad representa una ventaja al momento de realizar las actividades de inspección y mantenimiento.
- D.** Luego del desarmado y análisis de un vibrador interno modular se determinó que la correcta lubricación es esencial en el funcionamiento del equipo. Al carecer de un sistema de lubricación impulsado por una bomba, el sistema de salpicador es altamente sensible a las condiciones del lugar de operación (posición del vibrador). Además la ausencia de rodamientos en el eje de levas aumenta la necesidad de una adecuada lubricación.
- E.** Debido a que la energía mecánica sólo se transmite en el equipo a través de rotación de piezas móviles (cigüeñal, eje de levas, poleas, alma) los rodamientos de bolas se consideran como las piezas o repuestos críticos, los cuales deben estar bajo un estricto control.

## VII. RECOMENDACIONES

- A.** Implementar el sistema de mantenimiento en la mayor brevedad posible para evitar mayores daños a los equipos.
- B.** Se recomienda la estimación de tiempos al momento de establecer estándares de tiempo debido a la facilidad y pocos recursos que emplea. Si se emplean cualquier de los otros dos métodos se requiere de mayor tiempo para determinar el estándar. Esta estimación debe estar sujeta a revisión ya que existe la posibilidad de que sea un estándar muy alto o muy bajo, cualquiera que sea la situación no es favorable.
- C.** Se recomienda que el Encargado de Compras pase a estar subordinado al Departamento de Contabilidad con esto es más probable que se asegure un control de inventarios más estricto y coherente con las posibilidades económicas de la empresa.
- D.** Se recomienda incluir a la mayor cantidad de personal de operaciones posible en las actividades de mantenimiento básicas de calidad. A través de esto se puede acortar los tiempos muertos programados, la efectividad del mantenimiento, costos, etc.
- E.** Antes de emplear un software que facilite y optimice las herramientas de control del Departamento de Mantenimiento y de las actividades de mantenimiento se debe iniciar el proceso en forma manual, con el fin de adquirir datos y experiencia en el área.
- F.** El departamento de mantenimiento puede formar parte del área productiva al manejar proyectos de mantenimiento de sitios que se pueden ofrecer a los operadores de telefonía celular. Esto aumentaría los beneficios que éste produciría a la empresa.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

### A. Libros consultados

1. Raouf, A., Duffuaa Salih, Campbell John. 2006. *SISTEMAS DE MANTENIMIENTO, Planeación y Control*. Segunda Edición. México. Editorial Limusa. 419 págs.
2. González Fernández, Francisco Javier. 2003. *TEORÍA Y PRÁCTICA DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL AVANZADO*. Segunda Edición. España. Fundación Cofemetal. 525 págs.

### B. Manuales

1. Manual de Operación Vibrador Modular Interno. 2008. Wacker Neuson SE, Alemania.
2. Manual de Operación y Mantenimiento Motor Briggs & Stratton. Estados Unidos. 2008

### C. Referencias electrónicas complementarias

1. MANTENIMIENTO CORRECTIVO Organización y gestión de la reparación de averías. Consultado el día el día 12 de septiembre de 2010.  
<http://www.renovetec.com/mantenimientoindustrial-vol4-correctivo.pdf>
2. Mantenimiento Correctivo. Consultado el día 12 de septiembre de 2010.  
[http://www.solomantenimiento.com/m\\_correctivo.htm](http://www.solomantenimiento.com/m_correctivo.htm)
3. Mantenimiento Preventivo. Consultado el día 10 de septiembre de 2010.  
<http://www.mantenimientoplanificado.com/j%20guadalupe%20articulos/MANTENIMIENTO%20PREVENTIVO%20parte%201.pdf>

## IX. APÉNDICE

### A. Datos técnicos de vibrador

#### 1. Equipo

Denominación	Unidad	Modelo B3000
Dimensión	mm	570 x 510 x 390
Peso	kg	27

#### 2. Motor

Denominación	Unidad	Modelo B3000
Fabricante		Briggs & Stratton
Tipo		217
Tipo de motor		Otto
Tipo de combustión		4 tiempos
Refrigeración		Por aire
Cilindro		1
Cilindrada	cm <sup>3</sup>	206
Inclinación máxima admisible	°	15
Potencia máxima	kW	3.73
Número de revoluciones por minuto	min <sup>-1</sup>	3600
Tipo de combustible		Gasolina sin plomo (87 R + M)

Denominación	Unidad	Modelo B3000
Consumo de combustible	L/h	1.00
Capacidad del tanque	L	3.6
Especificación del aceite		SAE 10W30
Volumen aceite	L	0.6
Bujía		BPR6ES (NGK), W20EPR-U (DENSO)
Distancia entre electrodos	mm	0.7-0.8

### 3. Árbol flexible

Denominación	Unidad	
Longitud	m	5
Peso	kg	9.3

### 4. Cabezal vibrador

Denominación	Unidad	
Diámetro	mm	25
Longitud	mm	295
Peso	kg	0.8
Volumen de aceite	mL	10
Especificación del aceite		SAE 0W-30

## B. Entrevista sobre sistema de mantenimiento (nivel gerencia)

Nombre del entrevistado: Ing. OSCAR STUARDO FRANCO ESCOBEDO

Puesto del entrevistado: GERENTE DE PAÍS GUATEMALA

#### 1. ¿Existe un Departamento de mantenimiento en la empresa?

- No, actualmente no existe un departamento que tenga como función única velar por el mantenimiento de la maquinaria y de los vehículos.

#### 2. ¿Existe personal que tenga como función principal la de realizar mantenimiento?

- No, no contamos una persona encargada únicamente del mantenimiento.

**3. ¿Qué maquinaria o equipo poseen? y ¿cuántos equipos poseen?**

- En los trabajos que nos especializamos utilizamos cuatro equipos distintos: vibradores, bombas de succión, compactadores (bailarinas) y mezcladoras de concreto (concreteras). De estos cuatro nosotros tenemos únicamente quince vibradores modulares, los demás los arrendamos.

**4. ¿En qué condiciones se encuentran estos equipos?**

- El estado de la mayoría podría catalogarse como inaceptable y el resto se encuentran en condiciones levemente satisfactorias. De los 15 vibradores 8 no son utilizados por problemas de arranque del motor y/o problemas del fleje, los 7 restantes si son utilizados pero en repetidas ocasiones tenemos fallas en la obra y es por esto no podemos utilizar todos los equipos que llevamos. El objetivo es que todos estén en mejores condiciones.

**5. ¿Quién realiza el mantenimiento de estos equipos?**

- Como le mencionaba arrendamos tres tipos de equipos con empresas dedicadas a esto, son estos mismos proveedores los que nos ofrecen el servicio de mantenimiento para nuestros vibradores.

**6. ¿Cómo se lleva el control de estos trabajos de mantenimiento?**

- Existe una persona encargada de la bodega y de verificar el estado de los equipos y de los vehículos, pero en ocasiones necesitamos que se traslade a las obras que regularmente son en el interior del país. Esto dificulta el control y seguimiento del mantenimiento.

**7. ¿Es satisfactorio el trabajo y control de mantenimiento?**

- El trabajo de mantenimiento por parte del proveedor es satisfactorio el problema radica en el control que se lleva sobre los equipos para determinar cuáles de estos son los que necesitan su respectivos servicios. No existe un control estricto que determine que máquina ha trabajado más, cuál ha fallado o cuál es la está próxima a recibir su servicio.

**8. Actualmente, ¿se cumplen las necesidades básicas de mantenimiento?**

- Las necesidades básicas se cumplen para los vehículos (esto porque su control de mantenimiento es más fácil debido al kilometraje) pero en relación a la maquinaria me atrevería a decir que NO.

**9. ¿Poseen deficiencias en su sistema actual de mantenimiento? Si las hay, ¿podría indicarnoslas?**

- El problema más grande que tenemos es el control. Se cuenta con un sistema de codificación muy sencillo, no se posee un archivo histórico de cada equipo, las máquinas no cuentan con horómetros, la persona encargada de darle seguimiento tiene otras funciones y realmente no cumple con el control de la maquinaria para

construcción. Todos estos factores dificultan la programación, control y realización de las actividades de mantenimiento.

**10. ¿Las deficiencias en el mantenimiento actual tiene repercusiones en el proceso productivo que realizan? Si es así, ¿qué tanto afectan estas deficiencias?**

- Estas deficiencias provocan que no se pueda contar con todos los equipos en el momento indicado. En ocasiones en la obra el equipo no arranca o arranca y luego de operar unos minutos se para y queda inutilizable. Esto nos obliga a trabajar más despacio ya que no contamos con toda la maquinaria que se pudiera utilizar, lo que a su vez retarda nuestros tiempos de entrega lo que nos lleva a multas y penalizaciones. En ocasiones nos vemos en la necesidad de arrendar equipos para cumplir con la programación del trabajo lo que eleva nuestros costos de operación. Además como resultado de la crisis económica y el sector en el que nos desempeñamos actualmente debemos hacer una mayor cantidad de trabajos para ser rentables. Para que nos asignen obras debemos haber finalizado las asignadas previamente. Es decir que si queremos trabajar en volumen debemos finalizar nuestros trabajos a tiempo o incluso antes para que se nos asignen más y continuar con el ciclo. Es por esto que el atraso por cualquier razón es inaceptable.

**11. ¿Por qué desean implementar un nuevo sistema de mantenimiento?**

- Para poder contar con nuestra maquinaria y tener la certeza de que va a realizar las funciones que se requieren. El objetivo del sistema es establecer dentro de nuestra organización una rama encargada del mantenimiento de nuestros equipos, actualmente sólo contamos con vibradores pero se pretende adquirir los otros tres tipos de maquinaria para que de esta forma reduzcamos los costos y tiempos (arrendamiento) mejorando así nuestra productividad y seamos más competitivos. Además buscamos que este departamento nuevo se encargue también del mantenimiento de la flotilla de vehículos que poseemos. El proyecto empieza de poco a poco, primero con la compra de los vibradores y el desarrollo de sus rutinas de mantenimiento, esto para dar los primeros pasos. Se han cometido errores y es muy probable sigamos cometiendo errores pero lo que se busca es reducirlos al mínimo y con la experiencia obtenida con la fase de los vibradores podamos expandirnos a más equipos. Guatemala es el país piloto en este tipo de proyectos, queremos que sirva de ejemplo y guía para los demás países en donde tenemos operaciones (El Salvador, Honduras, Nicaragua y Panamá).

**12. ¿Qué debe tener el Sistema de Mantenimiento?**

- El sistema debe establecer la organización de un departamento de mantenimiento, sus objetivos, el perfil de sus integrantes, sus funciones. El número de integrantes y el esquema jerárquico debe ser el idóneo para el tamaño y organización de nuestra empresa, además de ser compatible con el número de equipos con los que contamos actualmente. Debe incluir el plan de mantenimiento preventivo para los vibradores. Este plan debe estar compuesto por: la programación de actividades, la frecuencia de las mismas, repuestos críticos y recomendaciones.

**13. ¿Cuántos empleados buscan tener en el departamento de mantenimiento?**

- De acuerdo con el número de equipos que son propiedad de la empresa creo que el número de empleados debe estar entre 4-8 empleados. Pero creo que el número

puede estar fuera de este rango si se justifica adecuadamente, además es necesario pensar en las futuras expansiones. La filosofía que queremos manejar es la de tener la cantidad mínima de personal de mantenimiento sin comprometer la disponibilidad, operación y seguridad de los equipos.

**14. ¿Qué filosofía de mantenimiento se busca emplear? ¿Por qué?**

- Creemos que la más adecuada es la del mantenimiento preventivo. Esto porque asegura la disponibilidad de los equipos y su confiabilidad. Queremos que todos nuestros equipos funcionen cuando se requiere y que lo hagan de la manera deseada. Además se puede reducir la frecuencia de las fallas, si la falla no se puede prevenir podemos reducir la severidad o que ésta produzca un efecto dominó, también queremos eliminar los mantenimientos de emergencia (evitar el trabajo de bomberos).

**15. ¿Han considerado emplear otra diferente?**

- Se considero emplear el mantenimiento predictivo pero luego de una investigación se llego a la conclusión de que debido al tipo de máquinas, su bajos costo y sencillez, no es viable económicamente invertir en la implementación de un sistema de mantenimiento predictivo.

**16. ¿Están conscientes de las ventajas y desventajas de la filosofía de mantenimiento preventivo? ¿Las han analizado?**

- Si sabemos que en ocasiones las repuestos pueden utilizarse por más tiempo de lo que establece el mantenimiento preventivo pero creemos que las ventajas de aumentar la disponibilidad y confiabilidad son más preponderantes en nuestra productividad y competitividad.

**17. ¿Cuándo planean poner en marcha el sistema de mantenimiento?**

- Queremos que el sistema este implementándose a finales del presente año (2010) para que pueda ser una valiosa herramienta en los proyectos de construcción de sitios que tenemos para el año 2011.

**18. ¿Qué beneficios espera la empresa obtener con la implementación del Sistema de Mantenimiento?**

- Como le mencionaba anteriormente lo que buscamos es que por medio del departamento de mantenimiento y del desarrollo del plan de mantenimiento preventivo para los vibradores se asegure la disponibilidad y confiabilidad de la maquinaria. Luego el siguiente paso es adquirir los tres tipos de maquinaria restante (bombas de succión, bailarinas y concreteras), desarrollar sus respectivos planes de mantenimiento y por último tener la capacidad de llevar a cabo el mantenimiento de los vehículos de la empresa. Con todo esto mejoraremos nuestros tiempos de producción, reduciremos costos y aumentaremos nuestra productividad y competitividad. Todo esto primero en Guatemala y luego de realizarlo poder implementarlo en los demás países de la región.

### **c. Entrevista sobre mantenimiento actual (nivel operaciones)**

**Nombre del Entrevistado:** FEDERICO BARRONDO

**Puesto del Entrevistado:** CONTROL DE VEHICULOS

- 1. ¿Qué funciones desempeña dentro de la empresa?**
  - Bodeguero, control de la maquinaria y vehículos.
- 2. ¿Usted realiza el mantenimiento de los equipos?**
  - No, lo realiza una empresa que se dedica al alquiler y reparación de maquinaria.
- 3. ¿Usted lleva el control de los servicios de mantenimiento?**
  - Sí.
- 4. ¿Cómo es este control? ¿Cómo sabe cuando le toca mantenimiento a los equipos?**
  - La empresa que da mantenimiento a los vibradores recomienda que éstos se lleven cada 20 días. Estos días son de uso, no de calendario. Entonces el control que llevo es el de anotar que día se llevo a servicio y que días se han utilizado para trabajar.
- 5. ¿Ha tenido problemas llevando este control? De ser así, ¿qué tipo de problemas ha encontrado?**
  - El problema más grande que tenido es el control de los vibradores no es mi única función, tengo que cumplir con otras responsabilidades y en muchos casos cuando todo el mundo esta afuera en los sitios y se necesita ir, llevar, comprar algo me toca a mí salir. Todo esto hace que yo no esté siempre presente cuando se llevan los vibradores, por esto no asignar que vibrador se pueden llevar, anotar quién se lo llevo, a qué obra, cuántos días. Esto hace muy difícil el control de que vibrador necesita servicio, que trabajador devuelve en mejor o peor estado la maquinaria, todas esas cosas. Hay veces que me toca llevar vibradores desde la ciudad a los sitios, o de un sitio a otro sitio. Al final no se le da el correcto seguimiento a la maquinaria y sus servicios se pasan. Otra situación es que hay maquinaria que presenta fallos, no enciende o cuando se enciende al conectarle el chicote del vibrador se apaga. En estos casos yo no puedo repararlos y tengo que esperar a que se me autorice mandar a reparar la maquinaria lo que consume tiempo y disminuye el número de vibradores con los que se puede trabajar. Además tengo que llevar el control de qué días trabajo tal vibrador, quién se lo llevo, quién lo está usando, quién es el supervisor y como le

decía la mayoría del tiempo yo ando afuera lo que me hace más difícil llevar este control.

**6. ¿Considera usted la forma control utilizada actualmente es la más correcta? ¿Por qué?**

- Creo que si funciona pero si se no se hacen más cosas. Si se tiene una persona dedicada a esto únicamente sería más fácil llevar el control y ante una emergencia sabría la información del vibrador respectivo.

**7. ¿Tiene usted conocimiento de los fallos de la maquinaria en las obras?**

- Si me han comentado que hay maquinaria que no arranca o que arranca pero luego de unos minutos se apaga y ya no funciona.

**8. ¿Qué cree usted que causa estos fallos?**

- Hay personas que no saben arrancar estos equipos o que no los cuidan. Otra causa que podría ser es lo que le decía que hay maquinaria que le falta servicio. Existen problemas que van más allá de mi área de conocimiento.

**9. ¿Cómo considera el estado y rendimiento actual de los equipos?**

- Creo que el estado tiene que mejorar y se podría hacer que todos funcionaran sin problemas y no solo unos cuantos.

**10. ¿Cree usted que puede mejorarse el rendimiento de los equipos? ¿Cómo se logra esto?**

- Creo que la clave sería tener a una persona que viera únicamente lo de los servicios así podría dedicarse enteramente a eso. Sabría las fechas de servicios pasados, fechas de trabajos y próximos servicios. Incluso se podría tener a alguien que haga los servicios ya que en ocasiones la empresa a donde llevamos los vibradores tiene mucha maquinaria para trabajar lo que nos demora, además perdemos tiempo en llevar e ir a traer los vibradores.

## **C. Rutinas de inspección**

**1. Estado de la cuerda de arranque**

- a) Apagar el motor y esperar a que la temperatura de sus superficies sea igual a la del ambiente.
- b) Colocar el equipo en una superficie plana.
- c) Halar la cuerda como si se deseara encender el equipo pero de forma pausada.
- d) Con la cuerda totalmente estirada revisarla en busca de deshilados.
- e) Anotar resultado en lista de verificación.

**2. Controlar el nivel de aceite**

- a) Apagar el motor y esperar a que la temperatura de sus superficies sea igual a la temperatura ambiente.

- b) Colocar el equipo sobre una superficie plana.
- c) Limpiar cualquier suciedad presente en el área del orificio de control y llenado de aceite.
- d) Remover el tapón roscado del orificio.
- e) Comprobar con la varilla de nivel del tapón roscado que el nivel de aceite sea el adecuado.
- f) Anotar resultado en lista de verificación.
- g) Colocar el tapón roscado en el orificio.

### 3. Controlar el nivel de combustible

- a) Apagar el motor y esperar a que la temperatura de sus superficies sea igual a la temperatura ambiente.
- b) Colocar el equipo sobre una superficie plana.
- c) Limpiar cualquier suciedad presente en la parte del tapón del tanque de combustible.
- d) Retirar el tapón del tanque.
- e) Comprobar que el tanque tenga combustible como mínimo a la mitad.
- f) Anotar resultado en lista de verificación.
- g) Verificar que el tapón del tanque tenga su empaque.
- h) Colocar el tapón del tanque combustible y roscar firmemente.

### 4. Estado de la pieza de acoplamiento del árbol flexible

- a) Sujetar firmemente el árbol flexible (sin deformar) con una prensa de banco.
- b) Limpiar cualquier suciedad en el extremo del árbol flexible (área de acoplamiento).
- c) Desenroscar la pieza de acoplamiento de la manguera protectora.
- d) Verificar el estado exterior de la pieza de acoplamiento.
- e) Verificar la geometría interior de la pieza de acoplamiento (ésta debe ser perfectamente circular) y verificar su desgaste.
- f) Limpiar cualquier suciedad presente en el interior de la pieza.
- g) Limpiar la rosca de la pieza con cepillo de alambre y detergente.
- h) Secar la pieza.
- i) Anotar los resultados en lista de verificación.
- j) Rosca firmemente la pieza de acoplamiento.

### 5. Estado del filtro de aire

- a) Apagar el motor y esperar a que la temperatura de sus superficies sea igual a la temperatura ambiente.
- b) Colocar el equipo sobre una superficie plana.
- c) Remover los tornillos de la tapa del filtro de aire.
- d) Colocar los tornillos en un recipiente para evitar extravíos.
- e) Remover la tapa del filtro de aire.
- f) Extraer el filtro de aire.
- g) Limpiar cualquier suciedad presente en la base en donde se coloca el filtro.
- h) Comprobar el color y la cantidad de suciedad en el filtro.
- i) Anotar resultado en lista de verificación.

1) Si el filtro no pasa la inspección realizar cambio.

- j) Colocar y ajustar el filtro de acuerdo con la dirección del flujo del aire.
- k) Colocar la tapa del filtro.
- l) Roscar firmemente los tornillos.

#### **6. Estado del alma del árbol flexible**

- a) Sujetar firmemente el árbol flexible (sin deformar) con una prensa de banco.
- b) Limpiar cualquier suciedad en el área de acoplamiento.
- c) Desenroscar la pieza de acoplamiento de la manguera protectora.
- d) Desenroscar el cabezal vibrador de la manguera protectora, tomar en cuenta que es rosca izquierda.
- e) Desenroscar las partes del cabezal vibrador.
- f) Separar el alma del cabezal vibrador.
- g) Extraer toda el alma de la manguera de protección.
- h) Verificar la lubricación en la totalidad del alma.
  - 1) En caso de ser necesario lubricar el alma.
  - 2) Si el alma presenta daños o huellas de rodaje se debe sustituir.
- i) Anotar resultado en lista de verificación.
- j) Conectar el alma al cabezal vibrador.
- k) Roscar las piezas del cabezal vibrador
- l) Roscar el cabezal vibrador a la manguera protectora, tomar en cuenta que es rosca izquierda.
- m) Introducir el alma en la pieza de acoplamiento.
- n) Roscar firmemente la pieza de acoplamiento.

#### **7. Estado del parachispas del escape**

- a) Apagar el motor y esperar a que la temperatura de sus superficies sea igual a la temperatura ambiente.
- b) Colocar el equipo en una superficie plana.
- c) Con una linterna verificar el estado del parachispas.
  - 1) Si es necesario realizar limpieza.
  - 2) Si el parachispas presenta fisuras es necesario sustituirlo por uno nuevo
- d) Anotar resultado en lista de verificación.

#### **8. Dimensiones del cabezal vibrador**

- a) Sujetar firmemente el cabezal vibrador (sin deformar) con una prensa de banco.
- b) Limpiar cualquier suciedad presente en el área de cabezal vibrador.
- c) Verificar con un vernier la dimensión del cabezal.
- d) Anotar resultado en lista de verificación.

#### **9. Estado de los sellos de los rodamientos del cabezal vibrador**

- a) Sujetar firmemente el cabezal vibrador (sin deformar) con una prensa de banco.
- b) Limpiar cualquier suciedad presente en el cabezal vibrador.
- c) Desenroscar el cabezal vibrador de la manguera protectora, tomar en cuenta que es rosca izquierda.

- d) Limpiar la rosca del cabezal con un cepillo de alambre y detergente.
- e) Secar la pieza.
- f) Desenroscar las piezas que componen el cabezal vibrador.
- g) Limpiar las roscas con un cepillo de alambre y detergente.
- h) Verificar el estado de los sellos. Que no exista fuga del aceite lubricante.
- i) Anotar resultados en lista de verificación.
  - 1)En caso de ser necesario realizar cambio de sellos.
- j) Roscar firmemente las piezas del cabezal vibrador.
- k) Roscar firmemente el cabezal vibrador a la manguera protectora, tomar en cuenta que es rosca izquierda.

#### 10. Estado de la bujía

- a) Apagar el motor y esperar a que la temperatura de sus superficies sea igual a la del ambiente.
- b) Colocar el equipo en una superficie plana.
- c) Retirar el capuchón de la bujía.
- d) Desmontar la bujía de la culata.
- e) Desenroscar con la bujía.
- f) Verificar la distancia entre electrodos con una galga de espesores
  - 1)Si es necesario corregir el espesor doblando el electrodo lateral.
- g) Verificar el aislador de la bujía.
  - 1)Si éste está dañado sustituir bujía.
- h) Verificar el anillo obturador de la bujía.
  - 1)Si éste está dañado sustituir bujía.
- i) Roscar firmemente la bujía aplicando un torque de 18 lb\*pie.
- j) Roscar firmemente la bujía firmemente en la culata.
- k) Colocar el capuchón a la bujía.

#### 11. Estado de los rodamientos del cabezal vibrador

- a) Sujetar firmemente (sin deformar) el árbol flexible con una prensa de banco.
- b) Limpiar cualquier suciedad presente en el cabezal vibrador.
- c) Desenroscar el cabezal vibrador de la manguera protectora, tomar en cuenta que es rosca izquierda.
- d) Limpiar la rosca del cabezal vibrador con un cepillo de alambre y detergente.
- e) Secar la pieza.
- f) Desenroscar las piezas que componen el cabezal vibrador.
- g) Limpiar las roscas con un cepillo de alambre y detergente.
- h) Verificar el estado de los rodamientos. Haciendo girar el eje.
- i) Anotar resultados en lista de verificación.
  - 1)En caso de ser necesario realizar cambio de rodamientos y sellos.
- j) Roscar firmemente las piezas que componen el cabezal vibrador.
- k) Roscar el cabezal vibrador a la manguera protectora, tomar en cuenta que es rosca izquierda.

#### 12. Estado del rodamiento del cigüeñal

- a) Apagar el motor y esperar a que la temperatura de sus superficies sea igual a la del ambiente.
- b) Colocar el equipo en una superficie plana.
- c) Limpiar cualquier suciedad presente en el tornillo de vaciado de aceite.
- d) Colocar un recipiente colector debajo del tornillo.
- e) Desenroscar el tornillo.
- f) Esperar que se vierta todo el aceite.
- g) Enroscar el tornillo.
- h) Extraer la polea de menor diámetro.
- i) Remover la banda.
- j) Extraer la polea del eje principal (polea de mayor diámetro) **con** un extractor.
- k) Remover el área de poleas.
- l) Remover la tapa y sello del cárter.
- m) Verificar el estado del rodamiento del cigüeñal.
- n) Anotar los datos en la lista de verificación.
  - 1)En caso de ser necesario sustituir el rodamiento por uno nuevo.
- o) Colocar firmemente la tapa y sello del cárter.
- p) Colocar firmemente el área de poleas.
- q) Colocar firmemente la polea de mayor diámetro y la banda.
- r) Colocar firmemente la polea de menor diámetro.
- s) Desenroscar el tapón del orificio de llenado aceite.
- t) Verter la cantidad adecuada de aceite con la ayuda de un embudo. Para verificar esta cantidad usar la varilla de nivel del tapón roscado.
- u) Roscar firmemente el tapón.

### 13. Verificación del tiempo del motor

- a) Apagar el motor y esperar a que la temperatura de sus superficies sea igual a la del ambiente.
- b) Colocar el equipo en una superficie plana.
- c) Limpiar cualquier suciedad presente en el tornillo de vaciado de aceite.
- d) Colocar un recipiente colector debajo del tornillo.
- e) Desenroscar el tornillo.
- f) Esperar que se vierta todo el aceite.
- g) Enroscar el tornillo.
- h) Extraer la polea de menor diámetro.
- i) Remover la banda.
- j) Extraer la polea del eje principal (polea de mayor diámetro) **con** un extractor.
- k) Remover el área de poleas.
- l) Remover la tapa y sello del cárter.
- m) Verificar la sincronización de los dos orificios, uno en el engrane del eje de levas y el otro en el contrapeso del cigüeñal por medio de una linterna y de inspección visual.
- n) Anotar los datos en la lista de verificación.
  - 1)En caso de ser necesario corregir la sincronización del motor.
- o) Colocar firmemente la tapa y sello del cárter.
- p) Colocar firmemente el área de poleas.

- q) Colocar firmemente la polea de mayor diámetro y la banda.
- r) Colocar firmemente la polea de menor diámetro.
- s) Desenroscar el tapón del orificio de llenado aceite.
- t) Verter la cantidad adecuada de aceite con la ayuda de un embudo. Para verificar esta cantidad usar la varilla de nivel del tapón roscado.
- u) Roscar firmemente el tapón.

#### 14. Estado de las poleas y banda

- a) Apagar el motor y esperar a que la temperatura de sus superficies sea igual a la del ambiente.
- b) Colocar el equipo en una superficie plana.
- c) Extraer la polea de menor diámetro.
- d) Remover la banda.
- e) Extraer la polea del eje principal (polea de mayor diámetro) **con** un extractor.
- f) Limpiar suciedad presente en ambas poleas.
- g) Verificar todas las dimensiones de la banda con un micrómetro.
- h) Verificar el estado de la cuña y el cuñero en cada polea.
- i) Anotar los datos en la lista de verificación.
- j) Colocar firmemente la polea de mayor diámetro y la banda.
- k) Colocar firmemente la polea de menor diámetro.

#### 15. Estado del salpicador de aceite

- a) Apagar el motor y esperar que su temperatura sea baja.
- b) Colocar el equipo en una superficie plana.
- c) Limpiar cualquier suciedad presente en el tornillo de vaciado de aceite.
- d) Colocar un recipiente colector debajo del tornillo.
- e) Desenroscar el tornillo.
- f) Esperar que se vierta todo el aceite.
- g) Enroscar el tornillo.
- h) Extraer la polea de menor diámetro.
- i) Remover la banda.
- j) Extraer la polea del eje principal (polea de mayor diámetro) **con** un extractor.
- k) Remover el área de poleas.
- l) Remover la tapa y sello del cárter.
- m) Verificar la geometría y características físicas del salpicador.
- n) Anotar los datos en la lista de verificación.
  - 1) En caso de ser necesario sustituir por uno nuevo.
- o) Colocar firmemente la tapa y sello del cárter.
- p) Colocar firmemente el área de poleas.
- q) Colocar firmemente la polea de mayor diámetro y la banda.
- r) Colocar firmemente la polea de menor diámetro.
- s) Desenroscar el tapón del orificio de llenado aceite.
- t) Verter la cantidad adecuada de aceite con la ayuda de un embudo. Para verificar esta cantidad usar la varilla de nivel del tapón roscado.
- u) Roscar firmemente el tapón.

## 16. Estado del gobernador

- a) Apagar el motor y esperar que su temperatura sea baja.
- b) Colocar el equipo en una superficie plana.
- c) Limpiar cualquier suciedad presente en el tornillo de vaciado de aceite.
- d) Colocar un recipiente colector debajo del tornillo.
- e) Desenroscar el tornillo.
- f) Esperar que se vierta todo el aceite.
- g) Enroscar el tornillo.
- h) Extraer la polea de menor diámetro.
- i) Remover la banda.
- j) Extraer la polea del eje principal (polea de mayor diámetro) **con** un extractor.
- k) Remover el área de poleas.
- l) Remover la tapa y sello del cárter.
- m) Verificar el estado de los dientes del engrane del gobernador.
- n) Anotar los datos en la lista de verificación.
  - 1) En caso de ser necesario sustituir por uno nuevo.
- o) Colocar firmemente la tapa y sello del cárter.
- p) Colocar firmemente el área de poleas.
- q) Colocar firmemente la polea de mayor diámetro y la banda.
- r) Colocar firmemente la polea de menor diámetro.
- s) Desenroscar el tapón del orificio de llenado aceite.
- t) Verter la cantidad adecuada de aceite con la ayuda de un embudo. Para verificar esta cantidad usar la varilla de nivel del tapón roscado.
- u) Roscar firmemente el tapón.

## C. Rutinas de mantenimiento preventivo

### 1. Ajustar el asiento entre el alma y el adaptador en el cabezal vibrador

- a) Sujetar firmemente el cabezal vibrador (sin deformar) con una prensa de banco.
- b) Limpiar cualquier suciedad presente en el cabezal vibrador.
- c) Desenroscar el cabezal vibrador de la manguera protectora, tomar en cuenta que es rosca izquierda.
- d) Limpiar la rosca del cabezal con un cepillo de alambre y detergente.
- e) Secar la pieza.
- f) Desenroscar las piezas que componen el cabezal vibrador.
- g) Limpiar las roscas con un cepillo de alambre y detergente.
- h) Asentar completamente el alma al adaptador.
- i) Roscar firmemente todas las piezas del cabezal.
- j) Roscar firmemente el cabezal vibrador a la manguera protectora, tomar en cuenta que es rosca izquierda.

### 2. Cambio de aceite del motor

- a) Apagar el motor y esperar a que la temperatura de sus superficies sea igual a la temperatura ambiente.

- b) Colocar el equipo sobre una superficie plana.
- c) Limpiar cualquier suciedad presente en el área del orificio de control y llenado de aceite.
- d) Colocar un recipiente colector debajo del tornillo de vaciado de aceite.
- e) Desenroscar el tornillo.
- f) Esperar que se vierta todo el aceite.
- g) Enroscar el tornillo.
- v) Desenroscar el tapón del orificio de llenado de aceite.
- w) Verter la cantidad adecuada de aceite con la ayuda de un embudo. Para verificar esta cantidad usar la varilla de nivel del tapón roscado.
- h) Extraer el embudo.
- i) Roscar firmemente el tapón.
- j) Encender el motor y dejarlo funcionar por unos minutos.
- k) Apagar el motor y esperar a que la temperatura de sus superficies sea igual a la temperatura ambiente.
- l) Verificar que el nivel de aceite sea el adecuado por medio de la varilla de nivel del tapón roscado.
  - 1) En caso de ser necesario agregar más aceite.
  - 2) Verificar que el nivel de aceite sea el adecuado por medio de la varilla de nivel del tapón roscado.
- m) Roscar firmemente el tapón.
- n) Verter el aceite viejo en el depósito adecuado.

### **3. Limpieza del filtro de aire**

- a) Apagar el motor y esperar a que la temperatura de sus superficies sea igual a la temperatura ambiente.
- b) Colocar el equipo sobre una superficie plana.
- c) Remover los tornillos de la tapa del filtro de aire.
- d) Colocar los tornillos en un recipiente para evitar extravíos.
- e) Remover la tapa del filtro de aire.
- f) Extraer el filtro de aire.
- g) Limpiar cualquier suciedad presente en la base en donde se coloca el filtro.
- h) Limpiar el filtro con un compresor de aire en el sentido contrario del flujo.
- i) Colocar y ajustar el filtro de acuerdo con la dirección del flujo del aire.
- j) Colocar la tapa del filtro.
- k) Roscar firmemente los tornillos.

### **4. Limpieza de la copa de sedimentos**

- a) Apagar el motor y esperar a que la temperatura de sus superficies sea igual a la temperatura ambiente.
- b) Colocar el equipo sobre una superficie plana.
- c) Desenroscar y desmontar la copa de sedimentos.
- d) Limpiar la copa de sedimentos con un disolvente no inflamable.
- e) Colocar la copa de sedimentos y roscarla firmemente.

### **5. Limpieza del parachispas**

- a) Apagar el motor y esperar a que la temperatura de sus superficies sea igual a la temperatura ambiente.

- b) Colocar el equipo sobre una superficie plana.
- c) Remover el escape y el dispositivo protector de quemaduras.
- d) Remover el parachispas.
- e) Limpiar los residuos de combustión del parachispas con un cepillo de alambre.
  - 1) Si el parachispas presenta fisuras es necesario sustituirlo por uno nuevo.
- f) Colocar firmemente el parachispas.
- g) Colocar y atornillar firmemente el escape y el dispositivo protector de quemaduras.

#### 6. Cambio de aceite del cabezal vibrador

- a) Sujetar firmemente el árbol flexible (sin deformar) con una prensa de banco.
- b) Limpiar cualquier suciedad presente en el cabezal vibrador.
- c) Desenroscar el cabezal vibrador de la manguera protectora, tomar en cuenta que es rosca izquierda.
- d) Limpiar la rosca del cabezal con un cepillo de alambre y detergente.
- e) Secar la pieza.
- f) Desenroscar las piezas que componen el cabezal vibrador.
- g) Limpiar las roscas con un cepillo de alambre y detergente.
- h) Desmontar el anillo de retenedor utilizando un destornillador.
- i) Extraer el sello plástico utilizando una herramienta de retracción.
- j) Remover el rodamiento con un extractor.
- k) Vaciar el aceite usado y eliminarlo en el depósito adecuado.
- l) Verter la cantidad indicada de aceite nuevo en la caja.
- m) Introducir el rodamiento.
- n) Introducir firmemente el sello.
- o) Introducir el anillo de retención nuevo con la curvatura mostrando hacia el interior hasta que todos los dientes engatillen en la ranura.
- p) Roscar firmemente las piezas del cabezal vibrador.
- q) Roscar firmemente el cabezal vibrador a la manguera protectora, tomar en cuenta que es rosca izquierda.

#### 7. Cambio de sellos y anillo retenedor del cabezal vibrador

- a) Sujetar firmemente el árbol flexible (sin deformar) con una prensa de banco.
- b) Limpiar cualquier suciedad presente en el cabezal vibrador.
- c) Desenroscar el cabezal vibrador de la manguera protectora, tomar en cuenta que es rosca izquierda.
- d) Limpiar la rosca del cabezal con un cepillo de alambre y detergente.
- e) Secar la pieza.
- f) Desenroscar las piezas que componen el cabezal vibrador.
- g) Limpiar las roscas con un cepillo de alambre y detergente.
- h) Desmontar el anillo de retenedor usado utilizando un destornillador.
- i) Extraer el sello plástico usado utilizando una herramienta de retracción.
- j) Introducir firmemente el sello plástico nuevo.

- k) Introducir el anillo de retención nuevo con la curvatura mostrando hacia el interior hasta que todos los dientes engatillen en la ranura.
- l) Roscar firmemente las piezas del cabezal vibrador.  
Roscar firmemente el cabezal vibrador a la manguera protectora, tomar en cuenta que es rosca izquierda.

#### **8. Lubricar el alma del árbol flexible**

- a) Sujetar firmemente el árbol flexible (sin deformar) con una prensa de banco.
- b) Limpiar cualquier presente en el área de acoplamiento.
- c) Desenroscar la pieza de acoplamiento de la manguera protectora.
- d) Desenroscar el cabezal vibrador de la manguera protectora, tomar en cuenta que es rosca izquierda.
- e) Desenroscar las piezas que componen el cabezal vibrador.
- f) Separa el alma del cabezal.
- g) Extraer el alma del árbol completamente.
- h) Lubricar con grasa No.2 el alma. Esto con las manos y dándole giros al alma para esparcir una capa uniforme de lubricante.
- i) Limpiar la rosca de la pieza de acoplamiento y del cabezal vibrador con un cepillo de alambre y detergente.
- j) Secar las piezas.
- k) Introducir el alma a la manguera protectora.
- l) Conectar firmemente el alma al cabezal vibrador.
- m) Roscar firmemente las piezas que componen el cabezal vibrador.
- n) Roscar firmemente el cabezal vibrador a la manguera protectora, tomar en cuenta que es rosca izquierda.
- o) Introducir el alma a la pieza de acoplamiento.
- p) Roscar firmemente la pieza y la manguera protectora.

#### **9. Limpieza de la bujía**

- a) Apagar el motor y esperar a que la temperatura de sus superficies sea igual a la temperatura ambiente.
- b) Colocar el equipo en una superficie plana.
- c) Retirar el capuchón de la bujía.
- d) Desmontar la bujía de la culata.
- e) Destornillar con la bujía.
- f) Limpiar la bujía con un cepillo metálico.
- g) Atornillar firmemente la bujía aplicando un torque de 18 lb\*pie.
- h) Colocar la bujía firmemente en la culata.
- i) Colocar el capuchón a la bujía.

#### **10. Limpieza del tanque de combustible**

- a) Apagar el motor y esperar a que la temperatura de sus superficies sea igual a la del ambiente.
- b) Colocar el equipo en una superficie plana.
- c) Remover la tapa del filtro de aire.
- d) Remover el filtro de aire.
- e) Remover la base del filtro de aire.

- f) Remover el carburador.
- g) Remover de la base del accionamiento el tanque de combustible.
- h) Desenroscar el tapón del tanque de combustible.
- i) Extraer todo el combustible dentro del tanque.
- j) Agregar aproximadamente 1/8 de combustible al tanque.
- k) Roscar firmemente el tapón del tanque de combustible.
- l) Agitar el tanque de combustible.
- m) Desenroscar el tapón del tanque de combustible.
- n) Extraer todo el combustible con las partículas.
- o) Colocar firmemente el tanque de combustible a la base del accionamiento.
- p) Colocar firmemente el carburador.
- q) Colocar firmemente la base del filtro de aire.
- r) Colocar y ajustar el filtro de aire en la dirección del flujo.
- s) Colocar firmemente la tapa del filtro de aire.
- x) Verificar que el tapón del tanque tenga su empaque.
- t) Colocar el tapón del tanque combustible y roscar firmemente.

#### **11. Cambio de tubería de combustible**

- a) Apagar el motor y esperar a que la temperatura de sus superficies sea igual a la del ambiente.
- b) Colocar el equipo en una superficie plana.
- c) Remover la tapa del filtro de aire.
- d) Remover el filtro de aire.
- e) Remover la base del filtro de aire.
- f) Remover el carburador.
- g) Remover tubería de combustible usada.
- h) Colocar la tubería de combustible nueva.
- i) Colocar firmemente el tanque de combustible a la base del accionamiento.
- j) Colocar firmemente el carburador.
- k) Colocar firmemente la base del filtro de aire.
- l) Colocar y ajustar el filtro de aire en la dirección del flujo.
- m) Colocar firmemente la tapa del filtro de aire.
- y) Verificar que el tapón del tanque tenga su empaque.
- n) Colocar el tapón del tanque combustible y roscar firmemente.

#### **12. Cambio del filtro de aire**

- a) Apagar el motor y esperar a que la temperatura de sus superficies sea igual a la temperatura ambiente.
- b) Colocar el equipo sobre una superficie plana.
- c) Remover los tornillos de la tapa del filtro de aire.
- d) Colocar los tornillos en un recipiente para evitar extravíos.
- e) Remover la tapa del filtro de aire.
- f) Extraer el filtro de aire usado.
- g) Colocar y ajustar el filtro de aire nuevo en la dirección del flujo.
- h) Colocar firmemente la tapa del filtro.
- i) Atornillar firmemente los tornillos.

#### **13. Cambio de bujía**

- a) Apagar el motor y esperar a que la temperatura de sus superficies sea igual a la temperatura ambiente.
- b) Colocar el equipo en una superficie plana.
- c) Retirar el capuchón de la bujía.
- d) Desmontar la bujía de la culata.
- e) Destornillar con la bujía.
- f) Atornillar firmemente la bujía nueva.
- g) Colocar la bujía firmemente en la culata.
- h) Colocar el capuchón a la bujía nueva.

#### **14. Limpieza del carburador**

- a) Apagar el motor y esperar a que la temperatura de sus superficies sea igual a la temperatura ambiente.
- b) Colocar el equipo en una superficie plana.
- c) Remover la tapa del filtro de aire.
- d) Remover el filtro de aire.
- e) Remover la base del filtro de aire.
- f) Remover el carburador.
- g) Remover la tubería de combustible.
- h) Utilizar un limpiador en aerosol para remover la suciedad en el carburador.
- i) Colocar firmemente la tubería de combustible.
- j) Colocar firmemente el carburador.
- k) Colocar firmemente la base del filtro de aire.
- l) Colocar y ajustar el filtro de aire en la dirección del flujo.
- m) Colocar firmemente la tapa del filtro de aire.

#### **15. Limpieza de cámara de combustión**

- a) Apagar el motor y esperar a que la temperatura de sus superficies sea igual a la temperatura ambiente.
- b) Colocar el equipo en una superficie plana.
- c) Remover el capuchón de la bujía.
- d) Remover la culata.
- e) Remover los residuos carbonizados con espátula especial de la parte interior de la culata (parte en donde se acumula el volumen de huelgo).
- f) Colocar firmemente la culata, atornillar en secuencia de espiral hacia afuera los tornillos aplicando un torque de 20 lb\*pie.

#### **16. Cambio de anillos**

- a) Apagar el motor y esperar que su temperatura sea baja.
- b) Colocar el equipo en una superficie plana.
- c) Limpiar cualquier suciedad presente en el tornillo de vaciado de aceite.
- d) Colocar un recipiente colector debajo del tornillo.
- e) Desenroscar el tornillo.
- f) Esperar que se vierta todo el aceite.
- g) Enroscar el tornillo.
- h) Extraer la polea de menor diámetro.
- i) Remover la banda.

- j) Extraer la polea del eje principal (polea de mayor diámetro) **con** un extractor.
- k) Remover el área de poleas.
- l) Remover la tapa y sello del cárter.
- m) Separa la biela del cigüeñal
- n) Extraer la biela.
- o) Extraer el pistón.
- p) Extraer los tres anillos del pistón. (Lubricación, compresión y explosión)
- q) Colocar los tres anillos nuevos en el pistón con un anillero.
- r) Introducir el pistón en el motor.
- s) Conectar la biela al cigüeñal y aplicar un torque de 12 lb\*pie a los tornillos.
- t) Colocar la culata y aplicar un torque de 18 lb a sus tornillos, en secuencia de espiral hacia afuera.
- u) Colocar firmemente la tapa y sello del cárter.
- v) Colocar firmemente el área de poleas.
- w) Colocar firmemente la polea de mayor diámetro y la banda.
- x) Colocar firmemente la polea de menor diámetro.
- y) Desenroscar el tapón del orificio de llenado aceite.
- z) Verter la cantidad adecuada de aceite con la ayuda de un embudo. Para verificar esta cantidad usar la varilla de nivel del tapón roscado.
- aa) Roscar firmemente el tapón.

#### **17. Cambio de rodamientos del cabezal vibrador**

- a) Sujetar firmemente el árbol flexible (sin deformar) con una prensa de banco.
- b) Limpiar cualquier suciedad presente en el cabezal vibrador.
- c) Desenroscar el cabezal vibrador de la manguera protectora, tomar en cuenta que es rosca izquierda.
- d) Limpiar la rosca del cabezal con un cepillo de alambre y detergente.
- e) Secar la pieza.
- f) Desenroscar las piezas que componen el cabezal vibrador.
- g) Limpiar las roscas con un cepillo de alambre y detergente.
- h) Desmontar el anillo de retenedor usado utilizando un destornillador.
- i) Extraer el sello plástico usado utilizando una herramienta de retracción.
- j) Extraer los rodamientos del cabezal con una herramienta de retracción.
- k) Introducir los nuevos rodamientos dentro del cabezal vibrador.
- l) Introducir firmemente el sello nuevo.
- m) Introducir el anillo de retención nuevo con la curvatura mostrando hacia el interior hasta que todos los dientes engatillen en la ranura.
- n) Roscar firmemente las piezas del cabezal vibrador.
- o) Roscar firmemente el cabezal vibrador a la manguera protectora, tomar en cuenta que es rosca izquierda.

#### **18. Cambio de rodamiento del cigüeñal**

- a) Apagar el motor y esperar que su temperatura sea baja.
- b) Colocar el equipo en una superficie plana.
- c) Limpiar cualquier suciedad presente en el tornillo de vaciado de aceite.
- d) Colocar un recipiente colector debajo del tornillo.

- e) Desenroscar el tornillo.
- f) Esperar que se vierta todo el aceite.
- g) Enroscar el tornillo.
- h) Extraer la polea de menor diámetro.
- i) Remover la banda.
- j) Extraer la polea del eje principal (polea de mayor diámetro) **con** un extractor.
- k) Remover el área de poleas.
- l) Remover la tapa y sello del cárter.
- m) Extraer el rodamiento usado con un extractor.
- n) Colocar el rodamiento nuevo.
- z) Colocar firmemente la tapa y sello del cárter.
- aa) Colocar firmemente el área de poleas.
- bb) Colocar firmemente la polea de mayor diámetro y la banda.
- cc) Colocar firmemente la polea de menor diámetro.
- dd) Desenroscar el tapón del orificio de llenado aceite.
- ee) Verter la cantidad adecuada de aceite con la ayuda de un embudo. Para verificar esta cantidad usar la varilla de nivel del tapón roscado.
- o) Roscar firmemente el tapón

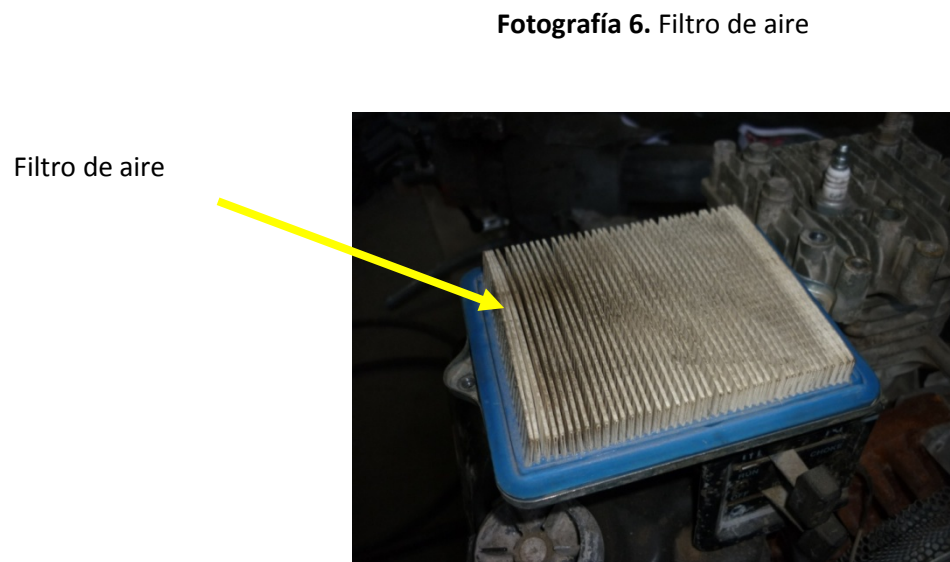
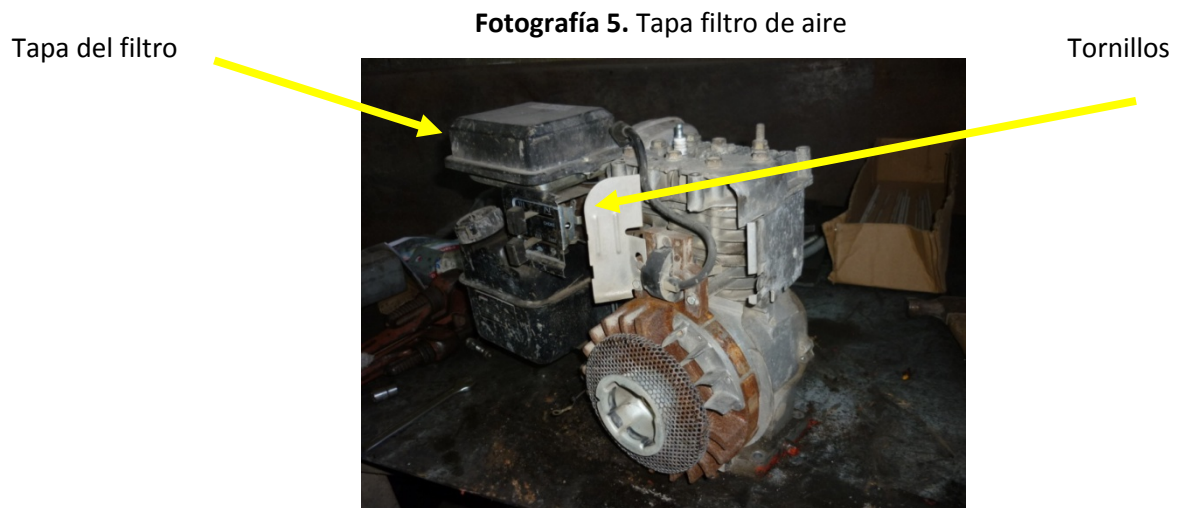
#### 17. Juego de válvulas

- a) Apagar el motor y esperar que su temperatura sea baja.
- b) Colocar el equipo en una superficie plana.
- c) Limpiar cualquier suciedad presente en el tornillo de vaciado de aceite.
- d) Colocar un recipiente colector debajo del tornillo.
- e) Desenroscar el tornillo.
- f) Esperar que se vierta todo el aceite.
- g) Enroscar el tornillo.
- h) Extraer la polea de menor diámetro.
- i) Remover la banda.
- j) Extraer la polea del eje principal (polea de mayor diámetro) **con** un extractor.
- k) Remover el área de poleas.
- l) Remover la tapa y sello del cárter.
- m) Remover las válvulas y sus componentes.
- n) Verificar por medio de un vernier medir la longitud del resorte de cada válvula.
- o) Anotar los datos en la lista de verificación.
  - 1) En caso de existir una longitud superior a la admitida cambiar resortes.
- p) Colocar las válvula y sus piezas en el motor.
- q) Colocar firmemente la tapa y sello del cárter.
- r) Colocar firmemente el área de poleas.
- s) Colocar firmemente la polea de mayor diámetro y la banda.
- t) Colocar firmemente la polea de menor diámetro.
- u) Desenroscar el tapón del orificio de llenado aceite.
- v) Verter la cantidad adecuada de aceite con la ayuda de un embudo. Para verificar esta cantidad usar la varilla de nivel del tapón roscado.

w) Roscar firmemente el tapón.

\*\*\*Todas las rutinas presentadas anteriormente serán respaldadas por medio de fotografías que faciliten su entendimiento. A continuación se muestra un ejemplo.

- Rutina de Inspección 5: Estado del filtro de aire



**D. Fotografía de un Vibrador Modular Interno****Fotografía 7. Vista frontal****Fotografía 8. Vista lateral****Fotografía 9. Vista Trasera****Fotografía 10. Árbol flexible y cabezal vibrador**