



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

**PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LA MAQUINARIA
UTILIZADA EN EL PLAN DE DESASTRES O CALAMIDAD PÚBLICA**

David Antonio Barrios Escamilla
Asesorado por el Ing. Edwin Martínez

Guatemala, mayo de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LA MAQUINARIA
UTILIZADA EN EL PLAN DE DESASTRES O CALAMIDAD PÚBLICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

DAVID ANTONIO BARRIOS ESCAMILLA
ASESORADO POR EL ING. EDWIN MARTÍNEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, MAYO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

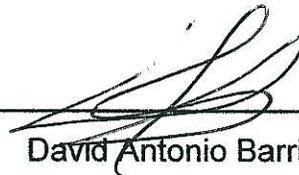
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Byron Gerardo Chocooj Barrientos
EXAMINADORA	Inga. Mayra Saadeth Arreaza Martínez
EXAMINADORA	Inga. Rossana Margarita Castillo Rodríguez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LA MAQUINARIA UTILIZADA EN EL PLAN DE DESASTRES O CALAMIDAD PÚBLICA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 21 de mayo de 2010.



David Antonio Barrios Escamilla

Guatemala 20 de Mayo del 2011

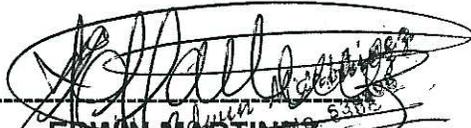
Ingeniero Cesar Ernesto Urquizu Rodas
Director de Escuela Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente.

Ingeniero Urquizu Rodas:

En cumplimiento a la resolución emitida por la Dirección de su Escuela, procedí a asesorar el trabajo de graduación del estudiante: David Antonio Barrios Escamilla con carnet No. 200516047 titulado "PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LA MAQUINARIA UTILIZADA EN EL PLAN DE DESASTRES O CALAMIDAD PUBLICA".

Considero que el trabajo cumple con los requisitos que establece la legislación universitaria, por lo que recomiendo su aprobación e impresión.

Sin otro particular me suscribo atentamente.


EDWIN MARTINEZ
INGENIERO INDUSTRIAL
Cel. 53074559



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LA MAQUINARIA UTILIZADA EN EL PLAN DE DESASTRES O CALAMIDAD PÚBLICA**, presentado por el estudiante universitario **David Antonio Barrios Escamilla**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Edwin Josué Ixpata Reyes
Catedrático Revisor de Trabajo de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Edwin Josué Ixpata Reyes
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado No. 7129

Guatemala, febrero de 2012.

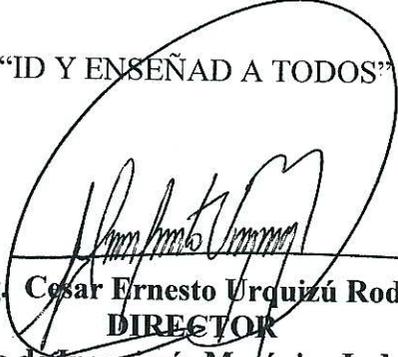
/mgp



REF.DIR.EMI.078.012

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LA MAQUINARIA UTILIZADA EN EL PLAN DE DESASTRES O CALAMIDAD PÚBLICA**, presentado por el estudiante universitario **David Antonio Barrios Escamilla**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Cesar Ernesto Urquizú Rodas
DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, mayo de 2012.

/mgp

Universidad de San Carlos
de Guatemala

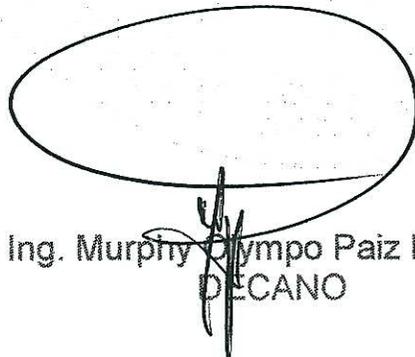


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG. 211.12

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LA MAQUINARIA UTILIZADA EN EL PLAN DE DESASTRES O CALAMIDAD PÚBLICA**, presentado por la estudiante universitaria **David Antonio Barrios Escamilla**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, mayo de 2012
/cdes

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por su infinito amor, ser la luz de mi camino y por nunca abandonarme.

Mis padres

Pablo Barrios Matta, por su apoyo incondicional y sacrificar otras cosas en la vida con el único interés de verme triunfar, Amalia Escamilla de Barrios, por exceder todos los límites de apoyo, confianza y amor hacia mí. Sin su ayuda nunca lo hubiera logrado, los amo.

Mis hermanos

Roberto, Xiomara y Juan Carlos, por acompañarme durante todo el recorrido de mi vida, y servirme como ejemplo.

AGRADECIMIENTOS A:

- La Universidad de San Carlos de Guatemala** Especialmente a la Facultad de Ingeniería por la formación profesional brindada estos años de carrera.
- Mi asesor** Ing. Edwin Martínez por toda la ayuda y el apoyo brindado a lo largo del desarrollo de este trabajo de graduación.
- Mis compañeros** Renato Escobar, Mariandré Rubio, Carlos Paz, Misael Boche, Mario Solórzano, Martha Ortiz, por convertirse en mis amigos a lo largo del transcurso de la carrera, siempre estuvieron presentes cuando más lo necesité.
- Mis amigos** Jacqueline Contreras, Judith Sequen, Emmanuel Ramírez, Blanca Solares, Kenneth Zacarías, Fredy Arredondo, Kathy Thomson, por estar conmigo en las buenas y en las malas, y por ayudarme a ser una mejor persona.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. Aspectos históricos	1
1.1.1. Fundación	3
1.1.2. Misión	3
1.1.3. Visión	4
1.2. Aspectos particulares	4
1.2.1. Plana mayor (organización del personal)	4
1.2.2. Estructura jerárquica	4
1.3. Aspectos jurídicos	5
1.3.1. Reglamentos de la institución	6
1.3.2. Definición y normas a las que se rige la institución	6
1.3.3. Obligaciones de la institución	7
1.4. Planes de contingencia del CIEG	7
1.4.1. Incendios	9
1.4.2. Sismos	9
1.4.3. Volcanes	9
1.4.4. Inundaciones	10
1.4.5. Huracanes	10

2.	DIAGNÓSTICO, EVALUACIÓN Y ESTUDIO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	11
2.1.	Elementos de una programación acertada	24
2.2.	Investigación del sistema actual utilizado para el mantenimiento de maquinaria	30
2.2.1.	Descripción de los procedimientos actuales	30
2.2.2.	Identificación de deficiencias	31
2.3.	Organización actual	31
3.	PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LA MAQUINARIA UTILIZADA EN EL PLAN DE DESASTRES O CALAMIDAD PUBLICA	33
3.1.	Clasificación del equipo	37
3.1.1.	Equipos críticos A	39
3.1.2.	Equipos críticos B	39
3.1.3.	Equipos críticos C	39
3.1.4.	Equipos críticos de calidad	40
3.1.5.	Equipo critico de medio ambiente	40
3.1.6.	Equipo critico de salud y seguridad	40
3.2.	Estadística de fallas del equipo	41
3.2.1.	Comparación del rendimiento teórico vs. real	43
4.	IMPLANTACIÓN Y MODIFICACIÓN DEL PROGRAMA	45
4.1.	Capacidad de los obreros de mantenimiento de enfrentar con éxito una implantación de mantenimiento	49
4.2.	Descripción de grasas y lubricantes a utilizar en el mantenimiento	50
4.2.1.	Cantidades a utilizar	51
4.2.2.	Frecuencia de cambio de aceites y/o lubricantes	52
4.3.	Stock de repuestos	53

4.3.1.	Localización del manual de uso de la máquina hecho por el fabricante	54
4.3.2.	Desglose de un manual mínimo de buen uso para los operarios de la maquinaria	54
4.3.3.	Creación de historial de averías e incidencias	56
4.2.3.1.	Selección de averías e incidencias	57
4.3.4.	Creación de un listado de accesorios y repuestos para el equipo	58
4.4.	Historial independiente de cada equipo	58
4.4.1.	Clasificación del equipo, según la frecuencia de su mantenimiento	60
4.4.2.	Establecimiento de puntos de comprobación	61
4.4.2.1.	Presión de neumáticos	62
4.4.2.2.	Niveles de lubricación	62
4.4.2.3.	Temperatura	62
4.4.2.4.	Voltaje	63
4.5.	Categorización de la maquinaria y equipo debido a su aporte en el plan de desastres	63
5.	SEGUIMIENTO, MEJORA CONTINUA	65
5.1.	Calendarización de reportes de rendimiento de maquinaria	72
5.1.1	Formato a utilizar para los reportes de rendimiento de maquinaria	73
5.2.	Registro de información, periódicamente	74
5.2.1.	Establecer período, de registro de información (mensual, trimestral, anual, etc.)	75
5.3.	Conclusiones con base a la información	76
	CONCLUSIONES	79
	RECOMENDACIONES	81
	BIBLIOGRAFÍA	83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama actual del CIEG	05
2.	Relación entre los objetivos de mantenimiento	13
3.	Sistema típico de mantenimiento	18
4.	Prioridades del trabajo de mantenimiento	26
5.	Grafica de Gantt	28
6.	Disponibilidad, confiabilidad - mantenibilidad	42
7.	Mejora al mantenimiento	68
8.	Ficha de maquinaria	74
9.	Ficha de mantenimiento	75

TABLAS

I.	Cantidad de aceite a utilizar	52
II.	Frecuencia de cambio de aceite	53
III.	Hoja de inspección diaria	55
IV.	Selección de averías e incidencias	57
V.	Ficha de filtros y maquinaria pesada	58
VI.	Frecuencia de cambios de aceite	60
VII.	Frecuencia total	61
VIII.	Orden de maquinaria según su frecuencia de servicio	61
IX.	Etapas de implementación	69
X.	Calendario de reportes	73

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
GI	Aceites para transmisión y diferenciales
Ca	Calcio
C	Comercial, aceite para motor diesel
Conred	Coordinadora nacional de reducción de desastres
D	Disponibilidad
FS	Factor de servicio
F	Frecuencia
F(t)	Función densidad de probabilidad
gal	Galón
°C	Grado Celsius o centígrado
hrs	Horas
Mw	Magnitud de movimiento sísmico
MBC	Mantenimiento basado en las condiciones

MBT	Mantenimiento basado en tiempo
TPM	Mantenimiento productivo total.
CPM	Método de la ruta crítica
N°	Número
T	Período
%	Porcentaje
1ra. 2da. 3era.	Primera, segunda, tercera
P(T)	Probabilidad casi inmediata de fallar
PS(T)	Probabilidad de supervivencia
R(t)	Rata de fallas
RS	Razón de servicio
S	Servicio, aceite para motor a gasolina
SAE	Sociedad de ingenieros automotrices
Na	Sodio
β	Tasa de falla constante

PERT

Técnica para revisión y evaluación de proyectos

TPS

Tiempo promedio de operación o servicio

GLOSARIO

Aleatorio	Dependiente de algún suceso fortuito.
Antelación	Anticipación a algún suceso.
API	Instituto americano del petróleo.
BIC	Batallón de ingenieros constructores.
CIE	Cuerpo de ingenieros del ejército.
Contingencia	Posibilidad de que algo suceda.
Cumulativa	Ocurrencia de valores de un suceso.
Efecto Coriolis	Aceleración relativa que sufre un objeto que se mueve dentro de un sistema de referencia no inercial en rotación cuando varía su distancia respecto al eje.
Empírica	Medio práctico propuesto para resolver un asunto controvertido o ejecutar algo difícil.
Feneció	Tiempo de vida útil de un equipo.

Focalizar	Desarrollo organizacional que involucra a las personas de una organización con el objetivo de renovarla, cambiarla
Fusión	Estrategia corporativa de la gerencia general que se ocupa de la combinación y adquisición de otras compañías así como otros activos.
Heurísticas	Reglas usadas cuando no existe una solución óptima bajo las restricciones dadas (tiempo, espacio, etc.)
Histograma	Representación gráfica de una variable en forma de barras, donde la superficie de cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores representados.
Homologar	Acción de poner en relación de igualdad y semejanza dos bienes.
Instrumentación	Conjunto de instrumentos de una planta o proceso.
Integradora	Método científico, mediante un algoritmo, que valida los resultados de búsqueda mediante la utilización de bases de datos relacionales (tablas de datos).

Jerarquía	Orden de los elementos que divide su serie según su valor. Puede aplicarse a personas en orden ascendente o descendente, según criterios de clase, poder, oficio, categoría, autoridad.
Manutención	Conjunto de operaciones de almacenaje, manipulación de piezas, mercancías, etc., en un recinto industrial.
Ojiva	Gráfica asociada a la distribución de frecuencias.
Parámetros	Función definida sobre valores numéricos de una población, como la media aritmética, una proporción o su desviación típica.
Premisa	Argumento válido, las premisas implican la conclusión.
Rata de fallas	Probabilidad de falla casi inmediata de un equipo de edad T.
Refacciones	Productos finales fundamentalmente, piezas de repuesto
SAE	Sociedad de ingenieros automotrices.

Termografía

Técnica que permite medir temperaturas exactas a distancia.

Tolerancia

Capacidad de un sistema de seguir en funcionamiento, aun en caso de producirse algún fallo.

Tribología

Ciencia que estudia la fricción, durante el contacto entre superficies sólidas en movimiento.

Viscosidad

Oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales.

RESUMEN

En el desarrollo del siguiente trabajo de graduación se describen las actividades del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Guatemala, el estudio tiene como objetivo que el equipo utilizado en situación de desastre este siempre disponible para ofrecer asistencia a la población.

Analizando los tipos de bienes producidos por la institución y relacionándolo con el entorno (con una serie de alteraciones climáticas) como: inundaciones, pocas vías de comunicación, derrumbes, entre otras, vulnerable al calentamiento global, se observa la importancia del caso respecto a la disponibilidad y buen desempeño de la maquinaria de la institución para enfrentar dichas eventualidades.

Si el éxito del proyecto alcanzara el conocimiento público, provocaría un interés especial en todas las compañías que trabajan con maquinaria de movimiento de tierra, y aun el proyecto podría servir de guía a cualquier tipo de institución interesada en mejorar su sistema de mantenimiento de maquinaria y/o equipo.

El progreso y desarrollo de un departamento dentro de una institución, trae como resultado la motivación y ánimo de mejora para el resto de la institución. Por lo tanto es importante el trabajo que realice un ingeniero industrial en el diseño e implementación en este tipo de proyecto.

OBJETIVOS

General

Implementar un programa de mantenimiento predictivo, determinando las necesidades actuales del equipo, mediante un estudio estadístico de las fallas en el equipo, juntamente con un plan de trabajo de investigación, el cual muestre información de beneficio para el proyecto.

Específicos

1. Establecer con base a datos históricos un *stock* de repuestos que reduzca el tiempo invertido en un equipo en mantenimiento.
2. Delegar responsabilidades por medio de la asignación de tareas incluyendo a todo el personal, para que contribuyan y comprendan el concepto de la mejora continua.
3. Considerar a través de un estudio técnico, el buen o mal funcionamiento del equipo.
4. Señalar causas que ayuden a evitar incidentes similares en el futuro.
5. Establecer procedimientos claros a seguir en situaciones comunes que involucren mantenimiento de la maquinaria.

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento predictivo en la maquinaria utilizada en el plan de desastres o calamidad pública es importante debido a que la eficacia de este plan trabaja en función de la maquinaria, y la disponibilidad de esta misma, es un resultado del buen estado de maquinaria, todos estos factores dan como producto final una buena o mala respuesta al servicio.

Es de utilidad para el estudiante universitario o profesional que esté interesado en la aplicación de la ingeniería industrial en cualquier campo, en este caso, al mantenimiento de la maquinaria de movimiento de tierra, en el cual se llevará cabo un estudio industrializado, para encontrar los puntos vulnerables del mantenimiento (preventivo, correctivo, predictivo) practicado en la maquinaria.

1. ANTECEDENTES GENERALES DEL CIEG

1.1. Aspectos Históricos del CIEG

Como consecuencia del triunfo de la Revolución de 1871, la modernización del ejército despertó la inquietud en el alto mando de esa época para organizar un cuerpo de ingenieros; fue así como en los anales patrios aparece el primer cuerpo de ingenieros, que trató de organizarse sin resultados positivos el 9 de agosto de 1871, bajo la dirección del capitán Rafael G. Lobos, a quien se le confirió el título de oficial de ingenieros.

Posteriormente, el 23 de diciembre de 1890 se intentó nuevamente la creación de un cuerpo de ingenieros, habiéndose nombrado en esta oportunidad como director del mismo al general Cayetano Sánchez, como subdirector al coronel Manuel M. Aguilar, habiendo causado alta en el mismo cuerpo los tenientes coroneles: José Montufar, Francisco Vela, Ramón Aceña y Augusto Cordero. En esa misma época, la compañía de clase anexa a la Academia Militar quedó organizada como compañía de zapadores para completar el personal del cuerpo de ingenieros. El 13 de marzo de 1891 se organizó en la Guardia de Honor, el batallón de zapadores, al cual se agregó con fecha 22 de marzo de 1892 la compañía de zapadores que, hasta entonces había sido parte del cuerpo de ingenieros.

Los jefes del batallón recién organizado fueron los coroneles Ramón Solórzano y Carlos Valdez, actuando como segundos jefes, el teniente coronel Manuel A. Sánchez y los comandantes Clemente Barrios, Fernando Cruz Ciriaco Revolorio y Joaquín Reyes, el batallón de zapadores tuvo su cuartel en Ciudad Vieja, departamento de Sacatepéquez, y fue disuelto por Orden General del 8 de octubre de 1898. Con anterioridad, con fecha 3 de noviembre de 1897, había sido creado el cuerpo de ingenieros y telegrafistas militares, formado inicialmente con aquellos elementos egresados de la Academia de Ingenieros de la Escuela Politécnica (organizada en 1895 por el teniente coronel don Julián Romillo y Pereda, de origen español), y que hubiesen obtenido el grado de ingeniero topógrafo.

De conformidad con la Orden General del Ejército de fecha 1º. de agosto de 1945 y como consecuencia de la Revolución del 20 de Octubre de 1944, el mando organizó con efectos del 1º. de julio de 1945, el batallón de ingenieros.

Por disposición del alto mando del Ejército, contenida en Orden General del Ejército No. 1617 de fecha 30 noviembre de 1954, la denominación "batallón de ingenieros del ejército" queda substituido por departamento de ingenieros del ejército.

Al publicarse el decreto legislativo No. 1387, Ley Constitutiva del Ejército, el 9 de septiembre de 1960, automáticamente se suprimió la denominación de departamento de ingenieros del ejército y fue sustituida por servicio de ingenieros del ejército.

Ante la necesidad de incrementar las unidades de ingenieros para apoyar los esfuerzos del gobierno en ejecución de obras de importancia nacional, el mando del ejército creó, con fecha 14 de diciembre de 1962, de conformidad con la Orden General del Ejército No. 2952, el batallón de ingenieros, adscrito a la zona militar general Luis García León, con sede en Poptún, Petén. A partir de esta fecha dicho batallón, funcionó paralelamente al servicio de ingenieros del Ejército, con sede en la ciudad capital.

1.1.1. Fundación

El 1º. de enero de 1969 fueron incrementados los efectivos del batallón de ingenieros, al crearse la segunda compañía de construcciones, la compañía de apoyo y la compañía de seguridad, cuyo personal fue agregado al cuerpo de ingenieros en formación. Debido a la cantidad de obras a ejecutar, el 1º. de enero de 1975, por disposición del alto mando contenida en Orden General de Ejército No. 58-74 de fecha 20 de diciembre de 1974, fue creado el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Guatemala.

1.1.2. Misión

“Proporcionar apoyo de combate, apoyo de servicio de combate de servicio técnico a las unidades del Ejército de Guatemala, apoyar a la población en caso de desastre o calamidad pública, apoyar a las fuerzas de seguridad civil del Estado, cooperar con los recursos humanos y materiales puestos a disposición para contribuir con la seguridad y el desarrollo del país.”

1.1.3. Visión

Como organización militar, ser la más confiable y efectiva en la ejecución de proyectos, obras de ingeniería y otras actuaciones que beneficien al Ejército de Guatemala, A las instituciones del gobierno y a nuestra población.

1.2. Aspectos particulares

El Cuerpo de Ingenieros del Ejército, lleva el nombre de un insigne militar e ingeniero que le diera a Guatemala mucha gloria por sus diferentes obras, las cuales aún prevalecen para ser apreciadas por las nuevas generaciones, el teniente coronel de ingenieros Francisco Vela Arango.

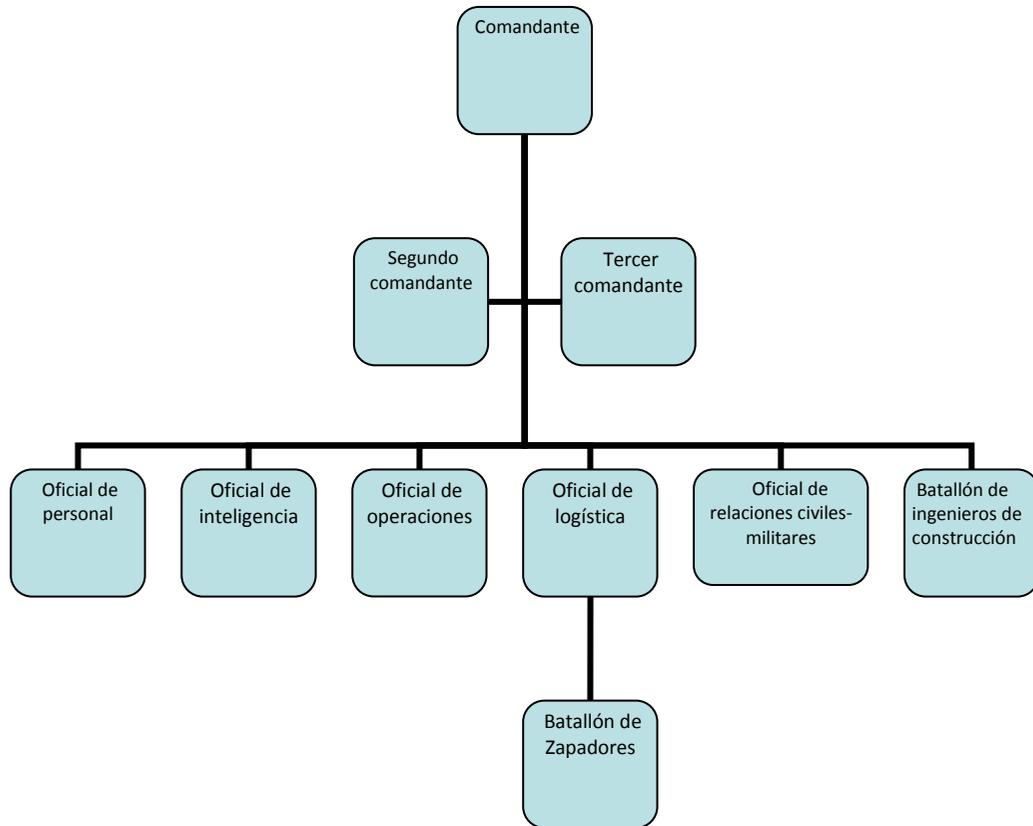
1.2.1. Plana mayor (organización del personal)

La organización está formada por el Comando y Estado Mayor, el Batallón de Zapadores, el Batallón de Construcciones, Escuela de Ingenieros, una Compañía de Comando y una Compañía de Apoyo de Servicios.

1.2.2. Estructura jerárquica

La organización es jerárquica y se basa en los principios de disciplina y obediencia. La organización del Cuerpo de Ingenieros del Ejército, de conformidad con la Orden General del Ejército No. 08-2004, de fecha 01 de julio de 2004, quedó autorizada en la forma siguiente (el siguiente listado está ordenado de forma descendente): Ver figura 1.

Figura 1. Organigrama actual de CIEG



Fuente: elaboración propia.

1.3. Aspectos jurídicos

La fuerza de la tierra es el componente mayoritario del Ejército de Guatemala. Está integrado por un conjunto de unidades creadas jurídicamente, que mediante el uso de los recursos con que está dotada sirve para conducir la defensa de la nación.

En el desempeño de sus funciones adapta su organización, medios y adiestramiento a un despliegue y una actuación adecuada a la división territorial vigente en tiempo de paz. Mantiene estrecho enlace y relación con autoridades y organizaciones civiles con las que comparte la responsabilidad de contribuir a la resolución de diversos problemas que afectan al cumplimiento de su misión.

1.3.1. Reglamentos de la institución

Debe ajustarse a ciertas normas de conducta, trato, funcionamiento y protocolo, con variantes más o menos circunstanciales, y con las modificaciones y cambios que van imponiendo las nuevas tendencias, medios de transporte y los modos de vida que revolucionan cada época y cada nación.

1.3.2. Definición y normas a las que se rige el BIC

El Ejército de Guatemala es la institución destinada mantener la independencia, la soberanía y el honor de Guatemala, la integridad del territorio, la paz y la seguridad exterior.

Es único e indivisible, esencialmente profesional, apolítico, obediente y no deliberante. Está integrado por fuerzas de tierra, aire y mar. Su organización es jerárquica y se basa en los principios de disciplina y obediencia.

1.3.3. Obligaciones del BIC

El Cuerpo de ingenieros del Ejército es considerado como un comando militar especial dentro de la organización del Ejército de Guatemala. Posee múltiples capacidades que lo hacen ser especial, tales como: la planificación, el diseño, cálculo, asesorías y ejecución de obras de construcción horizontal y vertical. Todo ello, se realiza mediante la aplicación técnica y conocimiento vigente de ingeniería militar e ingeniería civil.

1.4. Planes de contingencia del CIEG

En Guatemala, los planes de contingencia por desastres naturales, está a cargo de la Coordinadora Nacional de Reducción de Desastres (CONRED). Es una institución que a nivel nacional está en la capacidad legal, científica y tecnológica de coordinar, planificar, desarrollar y ejecutar todas las acciones destinadas a reducir los efectos que causan los desastres naturales, socio naturales o antropogénicos, así como a evitar la construcción de nuevos riesgos, mediante acciones de prevención, el CIE es una institución del Estado que aporta su apoyo a la CONRED, con personal, maquinaria y equipo.

El término desastre natural hace referencia a las enormes pérdidas materiales ocasionadas por eventos o fenómenos como: los terremotos, inundaciones, deslizamientos de tierra, deforestación, contaminación ambiental entre otros.

Los fenómenos naturales: lluvia, terremotos, huracanes o el viento, se convierten en desastre cuando superan un límite de normalidad medido generalmente a través de un parámetro. Éste varía dependiendo del tipo de fenómeno magnitud de momento sísmico, (escala de Richter para movimientos sísmicos, escala Saphir-Simpson para huracanes).

Los desastres son causados por las actividades humanas, que alteran la normalidad del medio ambiente. Algunos de estos son: la contaminación del medio ambiente, la explotación errónea e irracional de los recursos naturales renovables como los bosques y el suelo, y no renovables como los minerales, la construcción de viviendas y edificaciones en zonas de alto riesgo.

Los efectos de un desastre pueden amplificarse debido a una mala planificación de los asentamientos humanos, falta de medidas de seguridad, planes de emergencia y sistemas de alerta provocados por el hombre.

La capacidad institucional para reducir el riesgo colectivo de desastres, éstos pueden desencadenar otros eventos que reducirán la posibilidad de sobrevivir a éste, debido a carencias en la planificación y en las medidas de seguridad. Un ejemplo son los terremotos, que derrumban edificios y casas, dejando atrapadas a personas entre los escombros y rompiendo tuberías de gas que pueden incendiarse y quemar a los heridos bajo las ruinas.

La actividad humana en áreas con alta probabilidad de desastres naturales se conoce como de alto riesgo. Zonas de alto riesgo sin instrumentación ni medidas apropiadas para responder al desastre natural o reducir sus efectos negativos se conocen como de zonas de alta vulnerabilidad.

1.4.1. Incendios

Un incendio forestal es un desastre natural que destruye prados, bosques, causando grandes pérdidas en vida salvaje (animal y vegetal) y en ocasiones humanas. Los incendios forestales suelen producirse por un relámpago, negligencia, o incluso provocados y queman miles de hectáreas.

Las autoridades de protección civil han registrado un total de 613 incendios forestales que han destruido casi de 2.800 hectáreas de bosques en Guatemala desde noviembre 2011.

1.4.2. Sismos

Se da en las placas tectónicas de la corteza terrestre. En la superficie, se manifiesta por un movimiento o sacudida del suelo, y puede dañar enormemente las estructuras mal construidas. Los terremotos más poderosos pueden destruir hasta las construcciones mejor diseñadas. Además, pueden provocar desastres secundarios como erupciones volcánicas o tsunamis.

El sismo que sacudió la parte sur del departamento de Quiché dejó un saldo de 8 casas destruidas, 573 con daños leves y varios heridos.

1.4.3. Volcanes

Los volcanes son aberturas o grietas en la corteza terrestre a través de la cual se puede producir la salida de lava, gases, o pueden explotar arrojando al aire grandes bloques de tierra y rocas. Este desastre natural es producido por la erupción de un volcán, y éstas pueden darse de diferentes formas.

Los volcanes Pacaya, Fuego y Santiaguito de Guatemala han aumentado su actividad en los últimos días obligando a emitir una alerta para la navegación aérea, informó la Coordinadora para la Reducción de Desastres el mes de mayo de 2011(CONRED).

1.4.4. Inundaciones

Una inundación es un desastre natural causado por la acumulación de lluvias y agua en un lugar concreto. Puede producirse por lluvia continua, una fusión rápida de grandes cantidades de hielo, o ríos que reciben un exceso de precipitación y se desbordan, y en menos ocasiones por la destrucción de una presa.

Aproximadamente 2 mil 390 personas resultaron afectadas por una inundación que se registró en el casco urbano de Puerto Barrios, Izabal, las que fueron atendidas por instituciones que integran el Sistema de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED).

1.4.5. Huracanes

Un huracán es un sistema tormentoso cíclico a baja presión que se forma sobre los océanos. Es causado por la evaporación del agua que asciende del mar convirtiéndose en tormenta. El efecto Coriolis hace que la tormenta gire, convirtiéndose en huracán si supera los 110 km/h. En diferentes partes del mundo los huracanes son conocidos como ciclones o tifones.

En Guatemala se registró un hundimiento de tierra, tras el paso de la tormenta Agatha, en la zona 2 capitalina en el mes de mayo de 2011.

2. DIAGNÓSTICO, EVALUACIÓN Y ESTUDIO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Las inconsistencias en la operación del equipo de producción dan por resultado una variabilidad excesiva en el producto, en consecuencia, ocasionan una producción defectuosa. Para producir con un alto nivel de calidad, el equipo de producción debe operar dentro de las especificaciones, las cuales pueden alcanzarse mediante acciones oportunas de mantenimiento.

El mantenimiento predictivo no arregla los problemas de las máquinas, en cambio los identifica en su etapa prematura, los cuales no se pueden detectar de manera visual o con otras inspecciones al equipo. Esta identificación temprana puede prevenir fallas catastróficas y tiempo muerto considerablemente.

Los sistemas de producción, generalmente se ocupan de convertir entradas o insumos, como materias primas, mano de obra y procesos, en productos que satisfacen las necesidades de los clientes.

La principal salida de un sistema de producción son los productos terminados; una salida secundaria es la falla de un equipo. Esta salida secundaria genera una demanda de mantenimiento. El sistema de mantenimiento toma esto como una entrada y le agrega conocimiento experto, mano de obra y refacciones, y produce un equipo en buenas condiciones que ofrece una capacidad de producción.

Primordialmente la meta general de un sistema de producción es elevar al máximo las utilidades a partir de las oportunidades disponibles en el mercado, y la meta secundaria tiene que ver con los aspectos económicos y técnicos del proceso de conversión.

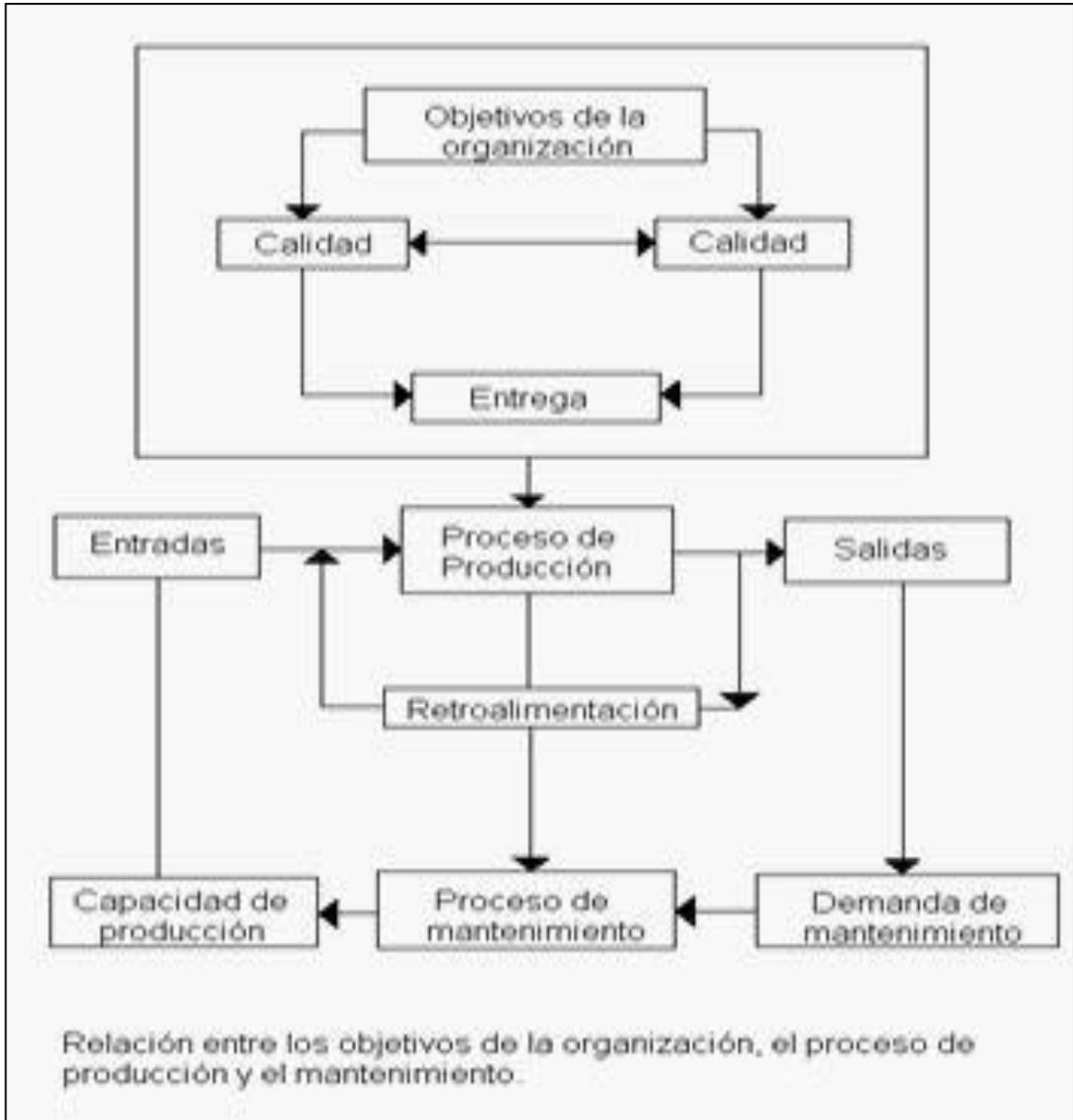
Los sistemas de mantenimiento, también contribuyen al logro de estas metas al incrementar las utilidades y la satisfacción del cliente. Éstas se logran reduciendo al mínimo el tiempo muerto de la planta, mejorando la calidad, incrementando la productividad y entregando oportunamente los pedidos a los clientes.

Los sistemas de producción han sido optimizados como un sistema integral y son estudiados de manera extensa en comparación con los sistemas de mantenimiento. Un sistema de mantenimiento puede verse como un modelo sencillo de entrada-salida. Las entradas de dicho modelo son:

- Mano de obra
- Administración
- Herramientas
- Refacciones
- Equipo

La salida es un equipo funcionando, confiable y bien configurado para lograr la operación planeada de la planta. Esto permite optimizar los recursos para aumentar al máximo las salidas de un sistema de mantenimiento. En la figura 2 se visualiza la relación entre objetivos de la organización, el proceso producción y el mantenimiento.

Figura 2. Relación entre los objetivos de mantenimiento



Fuente: cybertesis.upc.edu.pe, consulta: 18/04/11.

La implementación de un proyecto cada vez más complejo, ha evidenciado en los últimos años la necesidad de buscar el mejoramiento de los criterios y técnicas que se aplican en la planificación, programación y control, encontrándose estas actividades intelectuales entre las más arduas y complejas que confronta el hombre para manejar los esfuerzos eficientemente, y alcanzar los objetivos previamente establecidos.

La planificación consiste en proyectar un futuro deseado y los medios efectivos para conseguirlo, por lo tanto, se debe seleccionar la mejor manera de cambiar los recursos para cada proyecto, utilizando criterios normativos, como parte del proceso de planificación, de forma tal que los proyectos a financiar y ejecutar sean un proceso comparativo y competitivo de asignación de recursos.

Los elementos consisten en la comparación de los resultados reales con lo planificado, para descubrir en forma oportuna las variaciones potenciales o verdaderas y de existir dichas desviaciones, la adopción de acciones correctivas.

El proceso de control forma parte integrante del proceso administrativo. Desde este punto de vista, el control consiste en el conjunto de acciones efectuadas por el agente ejecutor con el propósito de que las actividades se realicen de conformidad con el plan. Estas acciones obedecen a una secuencia determinada, las cuales se describen a continuación:

- Definición de los parámetros de control: meta y objetivo son los elementos que permiten al sistema de control determinar si las acciones están conduciendo o no al receptor en dirección a la situación deseada.

Para la medición de los resultados, todo sistema de control debe poseer medios para verificar el resultado de cada actividad. Esta verificación debe presentarse bajo una forma cuantitativa.

- La evaluación de los errores: consiste en la comparación entre los resultados que se pretendían obtener y aquéllos efectivamente alcanzados. Es necesario determinar la magnitud de la diferencia comprobada y sus repercusiones sobre el proceso de ejecución del plano. En la relación a la definición de las correcciones una vez verificado el error y evaluada su gravedad es necesario analizar las posibles soluciones existentes y seleccionar aquellas que parezcan más adecuadas.
- La ejecución de las correcciones: las soluciones encontradas deben traducirse en el lenguaje apropiado para quien se encargue de ejecutarlas y con un grado de detalles más elevado, tomando en cuenta el nivel jerárquico del agente ejecutor. Por último, la ejecución y control, es el proceso mediante el cual se pone en marcha el plan y se le evalúa constantemente, para determinar si se están o no consiguiendo los objetivos propuestos.
- Las metas y los objetivos son el punto de partida que ha de impulsar el proyecto, pero además se requiere definir, iniciar y revisar siempre y cuando sea necesario los puntos de control, las actividades, las relaciones entre las actividades y los estimativos del tiempo (costo, y otros recursos), estos elementos definen el cuerpo de un proyecto.

Para que se lleve a cabo no basta con tener una meta y unos objetivos; e necesario decir los puntos de control y las actividades que permitan realizarlo exitosamente de otra manera, ¿cómo saber si se va en la dirección correcta? ¿cómo saber cuándo acelerar o desacelerar las cosas?, cómo se determinaría cuanto tiempo y dinero van a necesitarse y ¿Cómo saber si el recurso humano es el necesario?

- Los puntos de control son: como las luces que se les colocan a las pistas en los aeropuertos para hacerle saber al piloto que va en la dirección correcta y a su vez sirven como recordatorio de cuánto se ha avanzado.

Éstos cumplen un papel similar en el recorrido hacia la línea final de un proyecto, sirven para medir el avance de éste. Hay puntos de control tanto de largo, como de corto plazo, los primeros permiten medir el progreso real frente al planificado y los segundos conocidos como eventos son similares a los anteriores, pero se presentan con mayor frecuencia.

- Determinación de las relaciones entre las actividades: una vez obtenida la lista de todas y cada una de las actividades necesaria para llevar a cabo el proyecto, el paso siguiente es determinar las relaciones existentes entre una actividad y otra, donde sin lugar a dudas se pondrá de manifiesto que alguna de éstas son realizables antes que otras y hay algunas que no pueden ser ejecutadas hasta tanto la actividad que la antecede no sea culminada.

- Estimativos de tiempo, costos y otros recursos: para completar la estructura de división del trabajo, también debe cuantificarse el tiempo, el dinero, la gente, el equipo y demás recursos demandados por cada actividad, estos estimativos permiten ejecutar más cabalmente el plan del proyecto. Sin embargo, estas decisiones deben tomarse teniendo una información muy limitada, ya que generalmente no se sabe cuánto costara una actividad determinada, ni qué tiempo consumirá su ejecución, y esto se debe, a que cada proyecto es único, pero, lógicamente, con actividades claramente definidas es más fácil identificar los recursos como tiempo y costo.

Una buena estrategia comúnmente usada es aquella donde los cálculos se realizan en función de las siguientes premisas:

- Las estimaciones con los valores más optimistas
- Las estimaciones con los valores más pesimistas
- Nuevamente los cálculos con los valores más probables

Un planteamiento así de cuidadoso ayudará a tomar en cuenta que podría salir mal y lo que realmente implica para un equipo en particular la realización de una determinada actividad dentro de la planificación de un proyecto de ingeniería.

El mantenimiento es un factor importante en la calidad de los productos y puede utilizarse como una estrategia para una competencia exitosa.

Las inconsistencias en la operación del equipo de producción dan por resultado una variabilidad excesiva en el producto y, en consecuencia, ocasionan una producción defectuosa.

Para producir con un alto nivel de calidad, el equipo de producción debe operar dentro de las especificaciones, las cuales pueden alcanzarse mediante acciones oportunas de manutención. La figura 2 muestra un sistema típico de mantenimiento.

Figura 3. **Sistema típico de mantenimiento**



Fuente: cybertesis.upc.edu.pe, Consulta: 18/04/11.

Para el proceso de control de mantenimiento el autor John Moubray recomienda en su libro mantenimiento mundial los siguientes instrumentos que se requieren para mejorar las prácticas operativas:

- Pronóstico de la carga de mantenimiento: éste es el proceso mediante el cual se predice la carga de mantenimiento. La carga de mantenimiento en una planta dada varía aleatoriamente y, entre otros factores puede ser: una función de la edad del equipo, el nivel de su uso, la calidad del mantenimiento. El pronóstico de la carga de mantenimiento es esencial para alcanzar un nivel deseado de eficacia y utilización de los recursos, y sin éste, muchas de las funciones de mantenimiento no pueden realizarse bien.
- Planeación de la capacidad de mantenimiento: esta determina los recursos necesarios para satisfacer la demanda de trabajos de mantenimiento. Estos recursos incluyen: la mano de obra, materiales, refacciones, equipo y herramientas. Entre los aspectos fundamentales de la capacidad de mantenimiento se incluyen la cantidad de trabajadores de mantenimiento y sus habilidades, las herramientas requeridas para el mantenimiento, etc. Debido a que la carga de mantenimiento es una variable aleatoria, no se puede determinar el número exacto de los diversos tipos de técnicos. Por lo tanto, sin pronóstico razonablemente exacto de la demanda futura de trabajos de mantenimiento, no sería posible realizar una planeación adecuada de la capacidad a largo plazo.

Para utilizar mejor sus recursos de mano de obra, la organización tienden a emplear una menor cantidad de técnicos de la que han anticipado, lo cual probablemente dará por resultado una acumulación de trabajos de mantenimiento pendientes.

- Organización del mantenimiento: dependiendo de la carga del mantenimiento, el tamaño de la planta, la destreza de los trabajadores, etc., el mantenimiento se puede organizar por departamento, por área o forma centralizada.

Cada tipo de organización tiene sus pro y su contra. En las organizaciones grandes, la descentralización de la función del mantenimiento puede producir un tiempo de respuesta más rápida y lograr que los trabajadores se familiaricen más con los problemas de la sección particular de la planta. Sin embargo, la creación de número de pequeñas unidades viene a relucir la flexibilidad del sistema de mantenimiento como un todo. La gama de habilidades disponibles se reduce y la utilización de la mano obra es generalmente que una unidad de mantenimiento centralizado. En algunos casos puede tratarse de una situación de compromiso, denominada sistema en cascada. Este sistema permite que las unidades de mantenimiento del área de producción se enlace con la unidad de mantenimiento central.

- Modelo para decisiones de reemplazo: la decisión de reparar, actualizar o reemplazar un equipo o refacciones reparables puede ser tomada en la etapa de diseño de un nuevo sistema, en un punto en el ciclo de vida de un equipo cuando ha ocurrido una descompostura o cuando resulta evidente la obsolescencia.

La necesidad de elaborar y evaluar cada parte de un conjunto interrelacionado de decisiones antes de que se inicie una acción, de asignar recursos, de contar con fecha de iniciación y de determinación de cada actividad del proyecto, y el control de proceso completo, que aunque separadas están interrelacionadas y que deben ser considerados para producir un plan y un programa, haciéndose necesario un sistema dinámico de planificación, programación y control.

La interrelación entre planificación y control es evidente, ya que estas actividades son inseparables. Las acciones no planificadas no pueden controlarse, porque el control requiere mantener encausadas las actividades corrigiendo las desviaciones de los planes iniciales. Cualquier tentativa de controlar sin planes no tiene sentido. Los planes ofrecen las normas de control y este implica la existencia de metas y planes, por lo que no se puede controlar sin planes. Los planes son cuidadosamente preparados para un lapso determinado y el control constituye un medio de mantener el plan dentro de márgenes de tolerancia aceptable.

Es importante hacer la distinción entre planificación, programación y control para una mejor aplicación de estos conceptos. La planificación de las operaciones de un proyecto comprende la adaptación de objetivos y metas, en la determinación de las diversas tareas que deben realizarse, su secuencia de realización y de los recursos que requieran. Planificar es fundamentalmente escoger, es dividir de antemano qué hacer, cómo hacerlo, cuándo y quién debe llevarlo a cabo. La programación ocurre en la etapa de planificación y el resultado de este proceso del programa, esta es una lista o diagrama de los tiempos esperados de iniciación y terminación de todas las actividades del proyecto.

El programa muestra cuáles de los recursos han sido usados, o cuáles se van a usar tomando en cuenta la secuencia necesaria de las actividades del proyecto.

La planificación define las necesidades, la programación satisface éstas hasta el límite de la capacidad, balanceando los recursos necesarios con los recursos disponibles en un momento dado.

El control es la medida y corrección del desempeño de las actividades para asegurar que los objetivos y los planes de la empresa se estén llevando a cabo bajo ciertas condiciones.

La toma de decisiones efectivas requieren de información pertinente y oportuna que le permitan determinar: los recursos de acción alternativos, costo de cada alternativa y riesgos implícitos cuando se deben tomar las decisiones y las consecuencia de una decisión retrasada, de tal forma que se eviten altos costos en el equipo y mano de obra inadecuada y pérdida de tiempo.

La programación del mantenimiento es el proceso mediante el cual se acoplan los trabajos con los recursos y se les asigna una secuencia para ser ejecutados en ciertos puntos del tiempo. Un programa confiable debe tomar en consideración lo siguiente:

- Una clasificación de prioridades de trabajo que refleje la urgencia y el grado crítico del trabajo.
- Verificar todos los materiales necesarios para la orden de trabajo están en la planta (si no, la orden de trabajo no debe programarse).

- El programa maestro de producción y estrecha coordinación con la función de operación.
- Estimación realista y lo que probablemente sucederá, y no lo que el programador desea.
- Flexibilidad en el programa (el programador debe entender que se necesita flexibilidad, especialmente en el mantenimiento; el programa se revisa y actualiza con frecuencia.

El programa de mantenimiento puede prepararse en tres niveles, dependiendo de su horizonte:

- A largo plazo o maestro, que cubre un período de 3 meses a un año
- Semanal que cubre siete días.
- Diario que cubre el trabajo que debe completarse cada día.

El programa a largo plazo, se basa en las órdenes de trabajo de mantenimiento existente, incluyendo las de trabajo en blanco, los trabajos pendientes, el mantenimiento predictivo. El mantenimiento de emergencia anticipado debe equilibrar la demanda a largo plazo de trabajo de mantenimiento con los recursos disponibles.

El programa a largo plazo, generalmente está sujeto en revisión y actualización, para reflejar cambios en los planes y el trabajo de mantenimiento realizado.

2.1. Elementos de una programación acertada

La planificación del trabajo de mantenimiento es un requisito previo de la programación correcta. En todos los tipos de trabajos de mantenimiento, los siguientes requerimientos son necesarios para una programación eficaz.

- Órdenes de trabajos escritos que se derivan de un proceso de planeación bien concebida.
- Estándares de tiempo que se basan en la técnica de medición del trabajo.
- Información acerca de la disponibilidad de técnicas por especialidad para cada turno.
- Existencias de refacciones e información para su reabastecimiento, información sobre la disponibilidad de equipo y herramientas especiales necesarias para el trabajo de mantenimiento.
- Acceso al programa de producción de la planta.
- Conocimiento del momento en que las instalaciones estarán disponibles, para servicios sin interrupción del programa de producción.

- Prioridades bien definidas para el trabajo de mantenimiento: éstas prioridades deben desarrollarse con una estrecha coordinación entre mantenimiento y producción. Información acerca de los trabajos ya programados, pero el sistema de prioridades para los trabajos de mantenimiento tiene un impacto tremendo en la programación del mantenimiento. Las prioridades se establecen para asegurar que se programe primero el trabajo más crítico. El desarrollo de un sistema de prioridades debe estar bien coordinado con el personal de operación, quien comúnmente asigna una mayor prioridad al trabajo de mantenimiento de lo que se justifica.

El sistema de prioridades deberá ser dinámico y debe actualizarse periódicamente para reflejar los cambios en las estrategias de operación o mantenimiento. Los sistemas de prioridades normalmente incluyen de 3 a 10 meses. La figura 4 muestra las prioridades de trabajo para mantenimiento.

Figura 4. **Prioridades del trabajo de mantenimiento**

Prioridades del trabajo de mantenimiento			
Prioridad			
Código	Nombre	Marco de tiempo en que debe comenzar el trabajo	Tipo de trabajo
1	Emergencia	El trabajo debe comenzar inmediatamente	Trabajo que tiene un efecto inmediato en la seguridad, el ambiente, la calidad o que parara la operación
2	Urgente	El trabajo debe comenzar dentro de las próximas 24 horas	Trabajo que probablemente tendrá un impacto en la seguridad, el ambiente, la calidad o que podrá parar la operación.
3	Normal	El trabajo debe comenzar dentro de las próximas 24 horas	Trabajo que probablemente tendrá un impacto en la producción dentro de una semana
4	Programado	Según esta programado	Mantenimiento predictivo y de rutina todo el trabajo programado
5	Aplazable	El trabajo debe comenzar cuando se cuente con los recursos o en el periodo de un paro	Trabajo que no tiene un impacto inmediato en la seguridad, la salud, ambiente o las operaciones

Fuente: elaboración propia.

El objetivo final de la programación es construido en una gráfica de tiempo que muestre el tiempo de inicio y terminación para cada trabajo (actividad). En el pasado, la programación de los trabajadores en un proyecto se basaba en técnicas heurísticas, y la primera herramienta de programación que se conoció fue la gráfica de Gantt, creada por Henry L. Gantt durante la segunda guerra mundial.

Salih Duffuaa señala en su libro sistemas de mantenimiento que la gráfica de Gantt es una gráfica de barras que especifican en el momento de inicio y terminación de cada actividad en una escala de tiempo horizontal. Su principal desventaja es que no muestra las interdependencias entre los diferentes trabajos. La gráfica de Gantt puede modificarse para mostrar las interdependencias, anotando acontecimientos importantes en cada línea de tiempo de los trabajadores. Dicho acontecimiento indican períodos de tiempo clave en la duración de cada trabajo.

Las técnicas de planteamiento y programación de proyectos han evolucionados a lo largo del tiempo y en la actualidad se utilizan ampliamente dos importancias técnicas analíticas para la planeación y programación:

- Método de la ruta crítica (CPM): fue desarrollado primero por E. I. Du Pont de *Nemours and Company* como una aplicación a los proyectos de construcción y posteriormente fue ampliada por *Mauchyl associates*.
- Técnica para revisión y evaluación de proyectos (PERT): fue desarrollado por la marina de los Estados Unidos para la programación de proyectos de investigación y desarrollo.

Se pueden mencionar dos herramientas más que se utilizan en la planificación de proyectos:

- Diagrama Gantt: es una herramienta de gestión de proyectos libre que permite realizar diagramas de GANTT a fin de planificar un proyecto y gestionar los recursos. La figura N° 7 muestra un ejemplo de una gráfica de Gantt.

Figura 5. **Gráfica de Gantt**

CODIGO	ACTIVIDADES	M E S													
		D I A S													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
B	X														
C	X														
D	X														

Fuente: elaboración propia.

- Diagrama de Pareto: el nombre de Pareto fue dado por el Dr. Joseph Juran en honor del economista italiano Wilfredo Pareto (Paris 1848 – Turín 1923) economista italiano, realizó un estudio sobre la riqueza y la pobreza. Descubrió que el 20% de las personas controlaba el 80% de la riqueza en Italia. Pareto observó muchas otras distribuciones similares en su estudio. A principios de los años cincuenta, el Dr. Joseph Juran descubrió la evidencia para la regla de 80-20 en una gran variedad de situaciones. En particular, el fenómeno parecía existir sin excepción en problemas relacionados con la calidad. Una expresión común de la regla 80/20 es que el 80% del negocio proviene del 20% de los clientes.

Por lo tanto, el análisis de Pareto es una técnica que separa los pocos vitales de los muchos triviales. Una gráfica Pareto es utilizada para separar gráficamente los aspectos significativos de un problema, desde los triviales de manera que un equipo sepa dónde dirigir sus esfuerzos para mejorar.

El Diagrama de Pareto consiste en un gráfico de barras similar al histograma que se conjuga con una ojiva o curva de tipo creciente y que representa en forma decreciente el grado de importancia o peso que tienen los diferentes factores que afectan a un proceso, operación o resultado. Se utiliza en:

- Al identificar y analizar un producto o servicio para mejorar la calidad.
- Cuando existe la necesidad de llamar la atención a los problemas o causas de una forma sistemática.
- Al analizar las diferentes agrupaciones de datos (ejemplo: por producto, por segmento del mercado, área geográfica, etc.).
- Al buscar las causas principales de los problemas y establecer la prioridad de las soluciones.
- Al evaluar los resultados de los cambios efectuados a un proceso (antes y después).
- Cuando los datos puedan agruparse en categorías.

En casos típicos, los pocos vitales (pasos, servicios, ítems, problemas, causas), son responsables por la mayor parte en el impacto negativo sobre la calidad.

Un equipo puede utilizar la gráfica de Pareto para varios propósitos durante un proyecto para lograr mejoras como:

- Analizar las causas.
- Estudiar los resultados.
- Planear una mejora continua.
- Como fotos de antes y después para demostrar qué progreso se ha logrado.

2.2. Investigación del sistema actual utilizado para el mantenimiento de maquinaria

A continuación se describen los procedimientos que se utilizan en la actualidad para el mantenimiento de la maquinaria de la institución.

2.2.1. Descripción de los procedimientos actuales

El mantenimiento actual de los diferentes vehículos y maquinaria en el CIEG se realiza de acuerdo a un registro, que consta de un formato que contiene datos históricos, este formato contiene fechas y lecturas de la última vez que se realizó mantenimiento al equipo.

Cada vehículo tiene un número de kilómetros u horas de uso al cual se debe someter a mantenimiento periódicamente, generalmente consiste en cambio de lubricantes (aceites), y filtros de aceite y combustible (ya sea gasolina o diesel), y presión de neumáticos.

2.2.2. Identificación de deficiencias

La limitante principal está centrada en la maquinaria y equipo, la cual a pesar de poseer adecuado mantenimiento, en su mayoría el tiempo de vida útil ya feneció, y por lo tanto requiere de mayores cuidados para su operación.

Otra deficiencia es que los vehículos y maquinaria están constantemente de uso en el interior de la república (distintas áreas departamentales) esto causa un problema al momento de realizar su servicio de mantenimiento, debido a que, en la mayoría de los casos cuando el vehículo debe de someterse a su respectivo mantenimiento, se encuentra de uso en el interior de la república, lo que aplaza su mantenimiento hasta el momento que retorne a las instalaciones del CIEG (zona 13 de la capital), esto puede tomar un par de días o hasta varias semanas de uso del vehículo fuera de sus óptimas condiciones.

El uso de lubricantes y repuestos adquiridos, únicamente por su bajo precio, es otro factor que limita la eficiencia del desempeño del equipo.

2.3. Organización actual del BIC

El Batallón de Ingenieros de Construcción se divide en tres ramas, las cuales son:

- Compañía de construcciones generales
 - Primer pelotón
 - Segundo pelotón
 - Tercer pelotón

- Compañía de construcciones horizontales
 - Primer pelotón
 - Segundo pelotón
 - Tercer pelotón
 - Cuarto pelotón

- Compañía de apoyo de construcciones
 - Pelotón de topografía y suelos
 - Pelotón de agua
 - Pelotón de transporte y equipo
 - Pelotón de mantenimiento de maquinaria y equipo

3. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LA MAQUINARIA UTILIZADA EN EL PLAN DE DESASTRES O CALAMIDAD PÚBLICA

El mantenimiento es una disciplina integradora que garantiza la disponibilidad, funcionalidad y conservación del equipamiento, siempre que se aplique correctamente, a un costo competitivo. En la actualidad, el mantenimiento está destinado a ser uno de los pilares fundamentales de toda empresa que se respete y que considere ser competitiva. Dentro de las diversas formas de conceptualizar el mantenimiento, la que al parecer presenta más actualidad, y al mismo tiempo resulta más abarcadora, es aquella que lo define como el conjunto de actividades dirigidas a garantizar, al menor costo posible, la máxima disponibilidad del equipamiento para la producción; visto esto a través de la prevención de la ocurrencia de fallos y de la identificación y señalamiento de las causas del funcionamiento deficiente del equipamiento.

Se entiende por control predictivo de mantenimiento, la determinación del punto óptimo para la ejecución del mantenimiento preventivo en un equipo, o sea, el punto a partir del cual la probabilidad que el equipo falle, asume valores indeseables.

La determinación de ese punto trae como resultado, índices ideales de prevención de fallas, tanto en el aspecto técnico como en el económico, ya que la intervención en el equipo no es efectuada durante el período en que aún está en condiciones de prestar servicio, ni en el período en que sus características operativas están comprometidas.

Los estudios de determinación de ese punto, que es llamado punto predictivo, pueden ser realizados bajo dos formas: en función de las características de los equipos: análisis estadístico y análisis de síntomas. El análisis estadístico, es aplicado cuando existe en la instalación, una cantidad apreciable de equipos o componentes con las mismas características, que puedan ser considerados como un universo, para el desarrollo de los cálculos de probabilidades y que tienen características aleatorias de fallo, es decir, a los cuales no es posible hacer acompañamiento de sus variables.

El análisis de síntomas es aplicado cuando es necesario el desarrollo de estudios para la determinación del punto predictivo, en equipos con características impares, con relación a los demás equipos instalados y en los cuales es posible hacer mediciones de sus variables.

En ambos casos, es recomendable que este trabajo sea desarrollado para equipos prioritarios de las instalaciones, ya que abarcan costos adicionales de inversión de material (instrumentos de medición) y mano de obra.

El análisis estadístico se basa en la determinación del término de vida útil, objeto del estudio en la curva de tasa de fallas con relación al tiempo, entendiéndose por tasa de fallas: la relación entre un incremento del número de fallas y el incremento correspondiente de tiempo, en cualquier instante de la vida de un equipo, y por vida útil: el periodo de tiempo, durante el cual el equipo desempeña su función con una tasa de fallas aceptable.

Tradicionalmente, la tasa de fallas representa la medida de probabilidad que un equipo que está operando presente fallas, es decir, deje de operar, cuando se incrementa un intervalo de tiempo.

Para su determinación es necesario agrupar los datos de muestreo de las ocurrencias por períodos de tiempo, establecer la "función de distribución acumulativa" $F(t)$, definida como: el número de ítems del universo que fallan en un determinado intervalo de tiempo.

La función densidad de probabilidad $f(t)$, definida como: la relación entre el número de equipos, que fallarán cuando se incrementa un lapso infinitesimal de tiempo, obtenida como la derivada de la función distribución acumulativa para un incremento de tiempo.

La relación de la primera con el simétrico de la segunda (1 - función densidad de probabilidad), genera una función llamada probabilidad de supervivencia, que representa la cantidad de equipos del muestreo que sobreviven con relación al universo inicial cuando se incrementa un infinitesimal de tiempo. Wallodi Weibull, en sus estudios sobre la resistencia de aceros, estableció una expresión semiempírica, con el objetivo de permitir:

- Representar fallas típicas de partida (mortalidad infantil), fallas aleatorias y fallas debidas a desgaste.
- Obtener parámetros significativos de la configuración de la falla a ejemplo del tiempo mínimo probable hasta la falla.
- La representación gráfica y simple para su aplicación.

En función de la situación en que el equipo se encuentre, con el pasar del tiempo presentará uno de los tres estándares de falla. La composición de las tres condiciones que, normalmente representan las fases de vida de una instalación, equipo o pieza es conocida como curva de la bañera.

La elección apropiada de β en la distribución de Weibull, permite su uso para representar una larga banda de aplicaciones, incluyendo tanto las fortuitas, que se comportan según un exponente negativo, como las que se comportan aproximadamente según una distribución normal.

No obstante la experiencia, haya mostrado que la función de Weibull, puede ser usada para una gran mayoría de modelos de falla, es esencial notar que se trata de una función promedio empírica y puede no ser capaz de representar, algunas distribuciones particulares encontradas en la práctica.

El valor $\beta = 1$ (tasa de fallas constante) puede ser indicativo, que modos múltiples de falla existente o, que los datos de los tiempos para fallas son sospechosos. Éste es frecuentemente el caso de sistemas, en los cuales diferentes componentes tienen diferentes edades y el tiempo individual de operación de los componentes no está disponible. Una tasa de fallas constante, puede también indicar que las fallas son debidas a eventos externos, como el uso indebido del equipo o deficiencia de las intervenciones para mantenimiento.

En la práctica del mantenimiento predictivo basado en síntomas, se puede caracterizar 5 etapas: inspección, análisis, diagnóstico, solicitud de intervención y retorno.

En la inspección son comunes la aplicación de los procesos de termografía, tribología (análisis de aceite), estroboscopia, análisis de vibración, rayos x, alineamiento, balanceo, ultrasonido y mediciones eléctricas. Los datos de la medición son registrados y tratados en programas propios de los equipos o programas específicos para generar los informes con las gráficas de tendencias y las indicaciones del momento más adecuado para intervención en el equipo.

3.1. Clasificación del equipo

Una planta o empresa usualmente comprende variedad de tipos en equipos; sin embargo, no todos son igualmente importantes. Los más importantes requieren mayor atención y mayores esfuerzos, ya que se espera que sobre ellos recaiga la mayor parte del corazón del negocio. Para poder priorizar y enfocar las actividades de mantenimiento, se asignan niveles de criticidad que sigan un estándar establecido.

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual.

El mejoramiento de la confiabilidad operacional de cualquier instalación o de sus sistemas y componente, está asociado con cuatro aspectos fundamentales:

- Confiabilidad humana
- Confiabilidad del proceso
- Confiabilidad del diseño
- Confiabilidad del mantenimiento

Difícilmente se disponen de recursos ilimitados, tanto económicos como humanos, para poder mejorar al mismo tiempo estos cuatro aspectos en todas las áreas de una empresa. ¿Cómo establecer que una planta, proceso, sistema o equipo es más crítico que otro?. ¿Qué criterio se debe utilizar?. ¿Todos los que toman decisiones, utilizan el mismo criterio?.

El análisis de criticidades da respuesta a estas interrogantes, dado que genera una lista ponderada desde el elemento más crítico hasta el menos crítico del total del universo analizado, diferenciando tres zonas de clasificación: alta, mediana y baja criticidad. Una vez identificadas estas zonas, es mucho más fácil diseñar una estrategia, para realizar estudios o proyectos que mejoren la confiabilidad operacional, iniciando las aplicaciones en el conjunto de procesos o elementos que formen parte de la zona de alta criticidad.

Los criterios para realizar un análisis de criticidad están asociados con: seguridad, ambiente, producción, costos de operación y mantenimiento, rata de fallas y tiempo de reparación principalmente. Estos criterios se relacionan con una ecuación matemática que genera puntuación para cada elemento evaluado. La lista generada, resultado de un trabajo de equipo, permite nivelar y homologar criterios para establecer prioridades, y focalizar el esfuerzo que garantice el éxito maximizando la rentabilidad.

3.1.1. Equipos críticos A

Es todo aquel equipo que como resultado de la falla, provoca el paro inmediato de la línea de producción o proceso. En este caso se clasifica como aquel vehículo que es indispensable en el momento de un desastre. Como prioridad en un caso de desastres está la asistencia a damnificados, por lo tanto los equipos críticos A, serán aquellos vehículos de transporte humano en caso de emergencia (pick-ups) marca Toyota Hilux.

Si no se cuenta con este equipo no es posible llegar al lugar de los hechos para ofrecer la asistencia prudente.

3.1.2. Equipos críticos B

Es todo aquel equipo que como resultado de la falla, provoca el paro de la línea de producción o proceso en las próximas 24 horas. Los tractores de oruga son utilizados en caso de derrumbes o deslaves, debido a que su función principal es el arrastrar o empujar cargas pesadas en terrenos difíciles.

3.1.3. Equipos críticos C

Es todo aquel equipo que como resultado de la falla, no afecta la línea de producción durante las siguientes 24 horas. La motoniveladora es utilizada con fines de cortar y nivelar caminos, a fin de dejarlos transitables y tiene la facilidad de mover y extender materiales con fines de nivelación.

3.1.4. Equipos críticos de calidad

Es todo aquel equipo que como resultado de la falla, provoca un daño a una variable dentro del plan de calidad. Entre estos están los pick ups marca Toyota Hylux, esto debido a que la calidad está medida con base a qué tanto ayudamos a los damnificados.

3.1.5. Equipos críticos de medio ambiente

Es todo aquel equipo que como resultado de la falla, provoca un efecto negativo a un aspecto medioambiental significativo. El tractor de oruga se lista dentro de esta categoría debido a que es el equipo responsable de mover grandes cantidades de tierra, que en su momento puede representar un peligro ambiental como por ejemplo un deslave.

3.1.6. Equipos críticos de salud y seguridad

Es todo aquel equipo que como resultado de la falla, provoca un riesgo significativo en el trabajador, en el medio ambiente o en el equipo mismo. Aquí se incluye todo el equipo que un conductor debe utilizar al momento de operar los diferentes equipos, entre los cuales se pueden mencionar: cascos, guantes, protección ocular, protección auditiva, ropa y calzado adecuados de trabajo.

3.2. Estadísticas de fallas de equipos

La mayor incidencia en la falla de la maquinaria de movimiento de tierra, son las fugas de aceite, esto de acuerdo a la información brindada de los mecánicos encargados del mantenimiento, los cuales reportan que la falla más frecuente de los pick-ups es la faja de tiempo, la cual sin previo aviso se rompe.

La naturaleza de los fenómenos de funcionamiento de instalaciones y equipos requieren del uso de la estadística, como soporte básico para la cuantificación de los parámetros, una cantidad que está sujeta o condicionada a determinados valores que pueden ser, en caso especial, una serie histórica que describe las características o el comportamiento de una población.

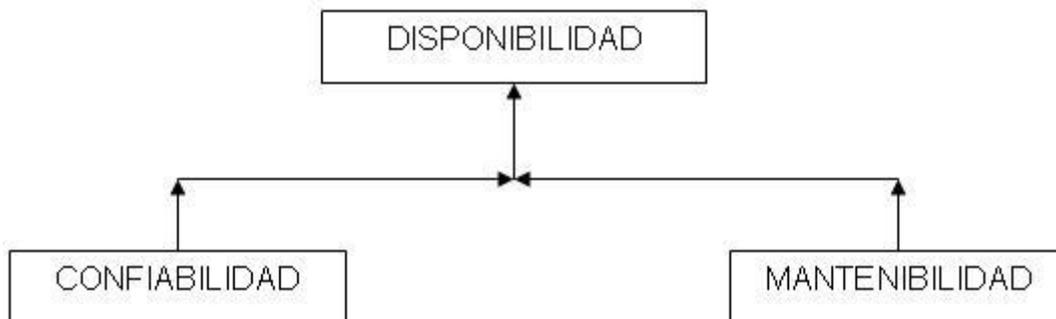
El comportamiento histórico de los equipos se caracteriza con base en los tiempos de operación y los tiempos de falla que se han presentado desde el momento de la puesta en marcha del sistema. Las condiciones que caracterizan los datos de tiempo operacionales de un equipo son tan numerosas que no se puede decir con exactitud cuándo se produce la próxima falla; sin embargo, se puede expresar cuál será la probabilidad de que el equipo se encuentre en operación o fuera de servicio en un momento determinado, esto se debe a la incertidumbre asociada a una variable aleatoria.

La distribución de una variable aleatoria es una función de probabilidad que surge de la necesidad de considerar las variables aleatorias como una función numérica definida en un espacio muestral y su objetivo es el de explicar ciertos hechos o conductores de la vida real mediante métodos cuantitativos; por lo tanto, la probabilidad asociada con los valores de una variable aleatoria se obtienen a través de una función de probabilidades.

Cada distribución de probabilidad tiene asociada una función de distribución acumulada de la variable aleatoria, la cual se define como la sumatoria de las probabilidades de los valores posibles de dicha variable, que sean menores o iguales a un valor prefijado. En el caso que se estudia, la variable aleatoria está constituida por los tiempos de operación y los tiempos fuera de servicio de un equipo o sistema en un período determinado.

Los parámetros estadísticos de mantenimiento son: la confiabilidad, la mantenibilidad y la disponibilidad. Éstos se relacionan, con el comportamiento del equipo de la siguiente forma: la confiabilidad se obtiene con base en los equipos de operación, la mantenibilidad se calcula con los tiempos fuera de servicio del sistema y la disponibilidad es un parámetro que se estima a partir de los dos anteriores, tal como se muestra en la figura 6:

Figura 6. **Disponibilidad, confiabilidad – mantenibilidad**



Fuente: elaboración propia.

La confiabilidad tiene muchos significados técnicos diferentes, pero uno de los más amplios es la característica de un elemento expresada por la probabilidad de que cumpla sus funciones específicas durante un tiempo determinado, cuando se coloca en las condiciones del medio exterior. La definición también se puede expresar como la probabilidad de que un equipo no falle mientras esté en servicio durante un período dado.

La confiabilidad como parámetro adaptado al criterio de mantenimiento, se define como la probabilidad de que un equipo no falle estando en servicio dentro de un período de tiempo determinado y su principal característica está definida por la rata de fallas, $R(t)$, expresada en unidades de fallas por hora la cual se obtiene a partir del comportamiento histórico de la información generada del equipo.

3.2.1. Comparación del rendimiento teórico vs. real

En el caso de la maquinaria de movimiento de tierra, es común que se tengan fugas de aceite; sin embargo, no está considerado en su rendimiento teórico. El rendimiento es un concepto asociado al trabajo realizado por las máquinas. Para obtener un buen rendimiento supone obtener buenos y esperados resultados, lo cual es equivalente a decir una buena productividad.

4. IMPLANTACIÓN Y MODIFICACIÓN DEL PROGRAMA

Al inicio de todo proceso de mejoramiento, ya sea a nivel personal como de organización, se exige, como primera etapa que se adquiriera conciencia de la realidad y, posteriormente, que se definan los objetivos a alcanzar. Entretanto, una vez iniciado el proceso, es necesario monitorear el progreso alcanzado, a través de observaciones y comparaciones a lo largo del tiempo, de parámetros que definan claramente el grado de calidad de dicho desempeño, constatando, sin subjetivismo, si se ha mejorado con respecto al inicio del período.

¿Por qué evaluar y controlar la gestión de mantenimiento en las empresas?. Sencillamente porque se necesita saber cuán eficiente es la aplicación de la política de mantenimiento que se ha planificado para el entorno productivo de la empresa. Esta información permite actuar de forma rápida y precisa sobre los factores débiles en el mantenimiento. Una buena política para controlar y evaluar la gestión de mantenimiento en la empresa resulta de la implantación, estudio y análisis de un paquete de indicadores.

Un número relativamente grande de índices ha sido sugerido para monitorear su desempeño, con resultados no siempre consistentes. En realidad, la cantidad de indicadores divulgados por la bibliografía especializada con este fin, llega a confundir un poco, sobre todo si no existe una cultura con respecto a su utilización en la empresa.

En la actualidad la toma de decisiones respecto al desempeño de los sistemas de mantenimiento, constituye indiscutiblemente un aspecto de primer orden a resolver, ya que mediante la garantía del mismo se propicia, no sólo la adecuada evaluación y control de la gestión del mantenimiento con vistas a lograr su mejoramiento continuado, sino, además, el logro de una mayor disponibilidad de las capacidades productivas instaladas en la entidad bajo estudio; ya que en la práctica el proceso decisional en esta área se dificulta por el hecho de disponerse de una amplia gama de indicadores propuestos al respecto sin una definición clara del grado de importancia de cada uno de ellos a la hora de valorar la influencia de la actividad de mantenimiento en la meta de la organización.

El objetivo general que se persigue en el presente estudio, consiste en la definición de los indicadores claves para la evaluación del desempeño de la actividad de mantenimiento, así como su jerarquización acorde a su nivel de influencia en el proceso de toma de decisiones.

Al inicio de todo proceso de mejoramiento, ya sea a nivel de individuos o de las organizaciones, exige, como primera etapa, que se adquiera conciencia de la realidad y posteriormente, que se definan los objetivos a alcanzar y los medios para ello.

Entre tanto, una vez iniciado el proceso, es necesario monitorear el progreso alcanzado, a través de observaciones y comparaciones, a lo largo del tiempo, de parámetros que definan claramente el nivel de calidad del desempeño organizacional, constatando, sin subjetivismo, si se ha mejorado o no respecto a la situación inicial.

Indicador o índice: es un parámetro numérico que facilita la información sobre un factor crítico identificado en la organización, en los procesos o en las personas respecto a las expectativas o percepción de los clientes en cuanto a costo- calidad y plazos.

Las características fundamentales que deben cumplir los indicadores de mantenimiento, siempre con la mirada puesta en lo que se desea alcanzar con el mantenimiento industrial, son las siguientes:

- Pocos, pero suficientes para analizar la gestión.
- Claros de entender y calcular.
- Útiles para conocer rápidamente como van las cosas y por qué.

Es por ello que los índices deben:

- Identificar los factores claves del mantenimiento y su afectación a la producción.
- Dar los elementos necesarios que permiten realizar una evaluación profunda de la actividad en cuestión.
- Establecer un registro de datos que permita su cálculo periódico.
- Establecer unos valores plan o consigna que determinen los objetivos a lograr.

- Controlar los objetivos propuestos comparando los valores reales con los valores planificados o consigna.
- Facilitar la toma de decisiones y acciones oportunas ante las desviaciones que se presentan.

Los índices de control en la gestión de mantenimiento deben tener carácter diferenciado en cuanto a su volumen y características estando esta diferenciación sujeta a los niveles de dirección de la entidad. La eficacia de la función de mantenimiento es algo difícil de medir de una forma aislada, ya que sus actuaciones no pueden considerarse independientes, sino encuadrada en equipos de trabajo y relacionados con otros departamentos. Dentro de la aplicación, ejecución, y control de un sistema de mantenimiento existen diferentes etapas, que las mismas pueden ser medidas a través de la citación de diferentes índices (Intervención, defectos, fuerzas de trabajo) que en su determinación van a permitir analizar el desenvolvimiento del sistema aplicado.

Apoyándose en la información que brindan estos índices como medios de control, se puede determinar la calidad del mantenimiento efectuado y así poder corregir las deficiencias en el sistema. De esta forma, se persigue verificar la disponibilidad de toda la información técnica, las características de funcionamiento, la ubicación, la prioridad del equipo, el estado actual, los planes de mantenimiento, las órdenes de trabajo ejecutadas y por ejecutar, los costos de mano de obra, materiales y repuestos en diferentes períodos, el personal que ha intervenido el equipo, componentes y repuestos asociados al mismo, las notas relevantes sobre el equipo, la ubicación dentro del sistema (jerarquía), los tiempos de paro, los modos de fallo y sus causas.

Los tiempos de funcionamiento, las señales de alarma, el valor de compra, el proveedor, la fecha de adquisición del bien y en general toda la información requerida para gestionar su mantenimiento, como también para uso de otras áreas: almacén, operación, comercial, montajes, entre otros.

Se debe dejar claro que no es necesario tener bajo control continuo muchos indicadores, sino sólo los más importantes, los claves. Los indicadores que engloban fácilmente el desempeño total del negocio deben recibir la máxima prioridad. El paquete de indicadores puede ser mayor o menor, dependiendo del tipo de negocio y sus necesidades específicas.

4.1. Capacidad de los obreros de mantenimiento de enfrentar con éxito una implantación de mantenimiento

El personal que se desempeña en una organización, cualquiera sea el sector de la economía o tipo de industria, edificio, etc., debe tener ciertas habilidades que le son básicas y que tienen que ver con su predisposición a realizar tareas técnicas.

A partir del desempeño diario del personal, se debe evaluar en qué medida el mismo es apto para desarrollar las tareas necesarias en el área de mantenimiento en aras de cumplimentar las metas empresariales. Todos los mecanismos de control de mano de obra, deben ser orientados en el sentido de obtener mayor aprovechamiento de los recursos humanos disponibles como un todo, como también propiciar, al personal, mayor seguridad y satisfacción en el desempeño de sus atribuciones.

4.2. Descripción de grasas y lubricantes a utilizar en el mantenimiento

Se define a la grasa lubricante como una dispersión semilíquida a sólida de un agente espesante en un líquido (aceite base). Consiste en una mezcla de aceite mineral o sintético (85-90%) y un espesante. Al menos en el 90% de las grasas, el espesante es un jabón metálico, formado cuando un metal hidróxido reacciona con un ácido graso. Un ejemplo es el estearato de litio (jabón de litio). Cuando la grasa tiene que contener propiedades especiales, se incluyen otros constituyentes que actúen como inhibidores de la oxidación y mejoren la resistencia de la película. Existe otro tipo de aditivo: los estabilizadores. Cambiando el jabón, aceite o aditivo, se pueden producir diferentes calidades de grasas por una amplia gama de aplicaciones.

Se suele emplear lubricación con aceite cuando la velocidad o la temperatura de funcionamiento hacen imposible el empleo de la grasa, o cuando hay que evacuar calor. El aceite, tiene su mayor aplicación en la lubricación de compresores, motores de combustión interna, reductores, motorreductores, transformadores, sistemas de transferencia de calor, piñoneras abiertas, cojinetes de fricción y antifricción y como fluidos hidráulicos.

Clasificación de las grasas: los tipos de grasa más comunes emplean como espesante un jabón de calcio (Ca), sodio (Na), o litio (Li). Clasificación de los aceites: al nivel de servicio (API), al grado de viscosidad (SAE). El API clasifica los aceites para motores a gasolina con la letra S servicio y una segunda letra que indica el nivel de desempeño del aceite referida al modelo o año de fabricación de los vehículos, los cuales son: SA, SB, SC, SD, SE, SF, SG, SH, SJ.

Con la letra C comercial que son aceites para motores diesel y una segunda letra que se refiere al año, al tipo de operación y al diseño. Los cuales son: CA, CB, CC, CD, CD-II, CE, CF, CF-2, CF-4, CG-4. Las letras GL que son para aceites de transmisión y diferenciales. Los cuales son: GL-1, GL-2, GL-3, GL-4, GL-5. La SAE clasifica los aceites de motor de acuerdo con su viscosidad, en: Unigrados los cuales son: SAE 40, SAE 50. Multigrados los cuales son: SAE 20W-40, SAE 20W-50, SAE 15W-40.

Los aceites multigrados brindan mayores beneficios: facilitan el arranque en frío del motor protegiéndolo contra el desgaste, su viscosidad se mantiene estable a diferentes temperaturas de operación, ahorran en consumo de combustible y aceite.

4.2.1. Cantidades a utilizar

La cantidad de aceite a utilizar en cada equipo, está especificado en la siguiente tabla, estas cantidades son el resultado de la investigación del equipo individual, consultas al manual del fabricante, y corroborando la información con fuentes externas especializadas en los lubricantes, como lo son la API (Instituto Americano del Petróleo):

Tabla I. **Cantidad de aceite a utilizar**

No.	TIPO MÁQUINA	Sae-15W40 (gal)	Sae-30 (gal)	Sae-10 (gal)	Sae-140 (gal)	Sae-90 (gal)	Grasa (lib)	ATF (gal)	424 Móvil (gal)
1	Tractor de oruga D-7	8	2	2	2	X	2	X	X
2	Motoni_Veladora	8	3	X	3	X	2	3	X
3	Pick-up	1	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: elaboración propia.

4.2.2. Frecuencia de cambio de aceite y/o lubricantes

La frecuencia de cambio de aceite es de suma importancia debido a que esta ligada con el rendimiento de la maquinaria, por este motivo se debe prestar atención a las recomendaciones de la siguiente tabla.

Tabla II. **Frecuencia de cambio de aceite**

No.	TIPO MAQUINA	Sae-15W40 hrs.	Sae-30 hrs.	Sae-10 hrs.	Sae-140 hrs.	Sae-90 hrs.	Grasa hrs.	ATF hrs.	424 Móvil hrs.
1	Tractor de oruga D-7	250	1000	1000	1000	X	10	X	X
2	Motoni_Veladora	250	2000	X	2000	X	50	1000	X

Fuente: elaboración propia.

En el caso de los pick-ups marca Hilux el cambio de aceite se realizará cada 5 000 kilómetros recorridos, esta cifra es la recomendada por el fabricante del vehículo. El cambio de aceite en cada uno de los vehículo debe de ser registrado y debidamente archivado.

4.3. **Stock de repuestos**

Para poder llevar un buen programa de mantenimiento, una herramienta de trabajo indispensable es que la bodega esté bien organizada, para poder llevar los controles referentes a los repuestos y materiales que se necesitan. La existencia de repuestos se puede optimizar, en función del historial de la maquinaria, ya que en éste se tiene el tiempo aproximado promedio de duración de los repuestos.

4.3.1. Localización de manual de uso de maquina hecho por el fabricante

Los manuales de mantenimiento se encuentran localizados en la oficina de construcciones horizontales, del Batallón de Ingenieros Constructores, y se reproducirá una copia para cada jefe de taller.

4.3.2. Desglose de un manual mínimo de buen uso para los operarios de la máquina

Las actividades diarias antes de encender las maquinaria deben de ser realizadas por el piloto asignado a cada máquina, el cual debe de reportar cualquier falla o anomalía encontrada en la máquina. Las actividades a realizar cada mañana antes de encenderlas son como se detalla en la tabla III. (Tabla que será utilizada para realizar dicha acción).

Tabla III. Hoja de inspección diaria

	Día	Mes	Año
Fecha	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Operador	<input type="text"/>		
Código de la máquina	<input type="text"/>		
Vehículos			
Chequear nivel de aceite de motor			<input type="checkbox"/>
Chequear nivel de agua del radiador			<input type="checkbox"/>
Chequear nivel de ácido de batería			<input type="checkbox"/>
Chequear nivel de líquido de frenos			<input type="checkbox"/>
Chequear nivel de aceite hidráulico de la dirección			<input type="checkbox"/>
Chequear presión de neumáticos			<input type="checkbox"/>
Maquinaria pesada de construcción			
Chequear nivel de aceite de motor			<input type="checkbox"/>
Chequear nivel de agua del radiador			<input type="checkbox"/>
Chequear nivel de ácido de batería			<input type="checkbox"/>
Chequear nivel de líquido de frenos			<input type="checkbox"/>
Chequear nivel de aceite hidráulico de la dirección			<input type="checkbox"/>
Chequear presión de neumáticos			<input type="checkbox"/>
Chequear funcionamiento de panel de instrumentos			<input type="checkbox"/>
Engrase de puntos críticos			<input type="checkbox"/>
Comprobación de funcionamiento de cuchillas, cucharón etc.			<input type="checkbox"/>
Firma de oficial a cargo	_____		
Firma de jefe de taller	_____		

Fuente: elaboración propia.

En el desglose del manual para un buen uso de la maquinaria se debe remarcar acciones que no deben realizarse en la maquinaria para evitar problemas futuros, a continuación se listan acciones que deben de evitarse a toda costa:

- No utilizar cualquier tipo de herramienta al trabajar en alguna parte de la maquinaria, asegurarse en cambio de tener la herramienta correcta para intervenir en cualquier situación de reparación o revisión.
- No asumir nada, en caso de tener inseguridad respecto a algo preguntar al superior inmediato para poder actuar correctamente.
- No someter el equipo a trabajos para el cual no fue diseñado, en caso de no tener claro en que situaciones no se debe utilizar la maquinaria y en que situaciones sí, preguntar al oficial a cargo.
- No obviar o dejar pasar por alto ninguna falla en la maquinaria, en cambio reportarlo inmediatamente para tomar acciones pertinentes.

4.3.3. Creación de historial de averías e incidencias

Cada vehículo o maquina tendrá un historial de trabajo y de reparaciones el cual tendrá información de cualquier desperfecto en el mismo, esto será de beneficio para los equipos, ya que con base en esta información se decidirá qué repuestos deben ser incluidos en el *stock* de repuestos.

4.3.3.1. Selección de averías e incidencias (repetitivas y no repetitivas)

Se hace a través como se describe en tabla III, la cual muestra, de una forma adecuada, el desperfecto que pueda sufrir una máquina.

Tabla IV. Selección de averías e incidencias

	Tractor de Oruga D-7	Moto-niveladora	Pick-ups
Motor			
Enfriamiento			
Combustible			
Rodaje			
Suspensión			
Hidráulico			
Eléctrico			
Otros			

Fuente: elaboración propia.

En el caso de los pick-ups se identificó de acuerdo a la información brindada por los mecánicos, que el rompimiento de la faja de tiempo tiene un nivel de incidencia muy alto. Con respecto al tractor de oruga D-7 y la motoniveladora se coincide en la falla de fugas de aceite.

4.3.4. Creación de un listado de accesorios y repuestos para el equipo

Un factor importante en el mantenimiento predictivo es la existencia de accesorios y repuestos indispensables para el equipo, a continuación se muestra la tabla V con esta información.

Tabla V. **Ficha de filtros maquinaria pesada**

Máquina	Filtro Aceite motor	Filtro Combustible	Filtro Transmisión	Filtro Hidráulico	Filtro aire primario	Filtro aire secundario
Tractor D-7	1R0721	9H1252	1R0741	x	4S8833	4S8834
Moto-Niveladora	1R0659	9H4729	x	1R0719	9M9378	2S1284

Fuente: elaboración propia.

En el caso de los pick-ups se necesita listar las fajas de tiempo, filtros de: gasolina, aceite, aire.

4.4. Historial independiente de cada equipo

A continuación se listan las fallas mas comunes de la maquinaria utilizada en el plan de desastres y calamidad nacional, esta información se basa en datos históricos.

En el caso del tractor D7 se tienen:

- Zapatas fracturadas
- Cadenas reventadas
- Cuchilla desgastada
- Mangueras rotas
- Fugas en cilindros hidráulicos
- Motor recalentado
- Falta de potencia
- Fallas en el arranque

En el caso de la motoniveladora se tienen:

- Fugas en los mandos
- Problemas de arranque
- Descarga de baterías
- Alternador que no carga
- Desajuste de cuchilla
- Desajuste de torna mesa
- Desajuste disco de embrague
- Filtro de aire sucios
- Bomba de agua dañada
- Recalentamiento de motor
- Falta de potencia

4.4.1. Clasificación de equipo, según la frecuencia de su mantenimiento

La fórmula para la frecuencia: $f = 1/ T$

Donde:

f = frecuencia

T= período.

Tabla VI. **Frecuencia de cambios de aceite**

No.	TIPO MÁQUINA	Sae-15W40 hrs.	Sae-30 hrs.	Sae-10 hrs.	Sae-140 hrs.	Sae-90 hrs.	Grasa hrs.	ATF hrs.	424 Móvil hrs.
1	Tractor de oruga D-7	.004	.001	.001	.001	X	0.1	X	X
3	Motoni_Veladora	.004	.0005	X	.0005	X	.02	.001	X

Fuente: elaboración propia.

En el caso de los pick-ups, la frecuencia de cambio de aceite y filtros, conocido como servicio menor, se debe realizar cada 5 000 kilómetros.

Tabla VII. **Frecuencia total**

No.	TIPO MÁQUINA	Sumatoria de frecuencia
1	Tractor de oruga D-7	0,107
2	Motoniveladora	0,026

Fuente: elaboración propia.

Ordenando según la frecuencia de servicio:

Tabla VIII. **Orden de maquinaria según su frecuencia de servicio**

No.	TIPO MÁQUINA
1	Tractor de oruga D-7
2	Motoniveladora

Fuente: elaboración propia.

4.4.2. Establecimiento de puntos de comprobación

Proporcionan al operario los datos necesarios para evaluar visualmente las condiciones de la maquinaria antes de su operación.

4.4.2.1. Presión de neumáticos

El correcto uso de la presión de inflado, es el factor más importante en el buen rendimiento y mantención de neumáticos de tractor e implementos. La presión de inflado debe ser chequeada regularmente. Para una exacta presión de inflado, se utiliza un medidor especial de baja presión, el cual debe ser controlado ocasionalmente para asegurar su precisión. A los neumáticos de tractor se les llena las 3/4 partes de agua.

4.4.2.2. Niveles de lubricación

Antes de poner en marcha el motor, se deben de revisar los niveles de lubricantes y líquidos refrigerantes, ya que si se arranca el motor sin los niveles adecuados de aceite, en pocos minutos se tendría un arrastre de pistón, turbo pegado, cigüeñal fundido. Una vez que el motor arranca, nunca se debe sobre revolucionar en vacío recién efectuada la puesta en marcha.

4.4.2.3. Temperatura

La temperatura alcanzada en el momento de la explosión ya es próxima a los 2000 °C, es decir, superior al punto de fusión del metal de que están hechos los cilindros, dado que el acero empieza a licuarse a los 1400 °C. Es una temperatura instantánea, rápidamente rebajada por la expansión de los gases y la entrada de mezcla fresca en el tiempo de admisión siguiente; pero si no se dispusiera de un enérgico sistema de enfriamiento de los metales, éstos se dilatarían en exceso, se pondrían al rojo, descomponiendo el aceite de engrase, y el conjunto de piezas en movimiento se agarrotaría.

El procedimiento, generalmente empleado, es el de refrigeración por agua. La culata, válvulas y cilindros están rodeados, por una envoltura hueca llena de agua (camisa de agua).

El agua se enfría en el radiador y en seguida vuelve a pasar por las camisas de los cilindros, a calentarse nuevamente para otra vez ir a enfriarse al radiador.

4.4.2.4. Voltaje

El sistema eléctrico del tractor está compuesto por la batería, el alternador, un motor de arranque y un regulador de voltaje, el cual se encarga de ver visualmente si está generando el voltaje adecuado para el sistema de carga. Si la batería consume el agua se debe revisar el regulador de voltaje.

4.5. Categorización de la maquinaria y equipo debido a su aporte en el plan de desastres

La categorización de la maquinaria y equipo queda de la siguiente manera:

- Tipo A: pick ups marca Toyota Hilux
- Tipo B: tractor de oruga D-7
- Tipo C: motoniveladora

Para profundizar en esta clasificación se puede referir al capítulo 3.1.1 al 3.1.3 en donde se encuentra el porqué de dicha categorización.

5. SEGUIMIENTO, MEJORA CONTINUA

El TPM es en la actualidad, uno de los sistemas fundamentales para lograr la eficiencia total, con base a la cual es factible alcanzar la competitividad total. La tendencia actual a mejorar cada vez más la competitividad supone elevar al unísono y en un grado máximo la eficiencia en calidad, tiempo y coste de la producción e involucra a la empresa en el TPM conjuntamente con el TQM.

El resultado final que se persigue con la implementación del mantenimiento productivo total es lograr un conjunto de equipos e instalaciones productivas más eficaces, una reducción de las inversiones necesarias en ellos y un aumento de la flexibilidad del sistema productivo.

El objetivo del mantenimiento de máquinas y equipos se puede definir cómo conseguir un determinado nivel de disponibilidad de producción en condiciones de calidad exigible, al mínimo coste y con el máximo de seguridad para el personal que las utiliza y mantiene. Por disponibilidad se entiende la proporción de tiempo en que está dispuesta para la producción respecto al tiempo total. Esta disponibilidad depende de dos factores críticos: la frecuencia de las averías, y el tiempo necesario para reparar las mismas.

El primero de dichos factores recibe el nombre de fiabilidad, es un índice de la calidad de las instalaciones y de su estado de conservación, y se mide por el tiempo medio entre averías.

El segundo factor denominado mantenibilidad es representado por una parte de la bondad del diseño de las instalaciones y por otra parte de la eficacia del servicio de mantenimiento. Se calcula como el inverso del tiempo medio de reparación de una avería. En consecuencia, un adecuado nivel de disponibilidad se alcanzará con unos óptimos niveles de fiabilidad y de mantenibilidad. Es decir, expresado en lenguaje corriente, que ocurran pocas averías y que éstas se reparen rápidamente.

- Evolución de la gestión de mantenimiento

El TPM adopta cómo filosofía el principio de mejora continua desde el punto de vista del mantenimiento y la gestión de equipos. El mantenimiento productivo total ha recogido también los conceptos relacionados con el mantenimiento basado en el tiempo (MBT) y el mantenimiento basado en las condiciones (MBC).

El MBT trata de planificar las actividades de mantenimiento del equipo de forma periódica, sustituyendo en el momento adecuado las partes que se prevean de dichos equipos, para garantizar su buen funcionamiento. En tanto que el MBC trata de planificar el control a ejercer sobre el equipo y sus partes, a fin de asegurarse de que reúnan las condiciones necesarias para una operativa correcta y puedan prevenirse posibles averías o anomalías de cualquier tipo.

El TPM constituye un nuevo concepto en materia de mantenimiento, basado este en los cinco principios fundamentales:

- Participación de todo el personal, desde la alta dirección hasta los operarios de planta. Incluir a todos y cada uno de ellos permite garantizar el éxito del objetivo.
- Creación de una cultura corporativa orientada a la obtención de la máxima eficacia en el sistema de producción y gestión de los equipos y maquinarias. De tal forma se trata de llegar a la eficacia global.
- Implantación de un sistema de gestión de las plantas productivas tal que se facilite la eliminación de las pérdidas antes de que se produzcan y se consigan los objetivos.
- Implantación del mantenimiento predictivo como medio básico para alcanzar el objetivo de cero pérdidas mediante actividades integradas en pequeños grupos de trabajo y apoyado en el soporte que proporciona el mantenimiento autónomo.
- Aplicación del sistema de gestión a todos los aspectos de la producción, incluyendo diseño y desarrollo, ventas y dirección.

La aplicación del TPM garantiza a las empresas resultados en cuanto a la mejora de la productividad de los equipos, mejoras corporativas, mayor capacitación del personal y transformación del puesto de trabajo.

Entre los objetivos principales y fundamentales del TPM se tienen:

- Reducción de averías en los equipos.
- Reducción del tiempo de espera y de preparación de los equipos.

- Utilización eficaz de los equipos existentes.
- Control de la precisión de las herramientas y equipos.
- Promoción y conservación de los recursos naturales y economía de energéticos.
- Formación y entrenamiento del personal.

Figura 7. **Mejora al mantenimiento**

AVERÍAS	Suprimir las causas
	Anticiparse - Mantenimiento Predictivo
REPUESTOS	Gestión Racional
MANO DE OBRA	Facilitar el trabajo
	Mejorar la utilización de los medios
	Utilización del personal operativo

Fuente: elaboración propia.

- Etapas de implementación

La implementación está conformada por un total de cinco fases, las cuales se describen en la tabla X.

Tabla IX. **Etapas de implementación**

FASE	ETAPA
Preparación	Decisión de aplicar el TPM en la empresa
	Campaña de información
	Formación de comités
	Análisis de las condiciones existentes
	Diagnóstico
	Planificación
	Implantación
Implantación	Capacitación
	Implantación del CEP para monitoreo
	Determinación y cálculo de ratios e indicadores
	Experiencia piloto
	Aplicación de mantenimiento autónomo Implementación de las 5 “S”
	Aplicación de mantenimiento predictivo
Evaluación	Análisis de resultados obtenidos
Estandarización	Se estandarizan los resultados obtenidos y luego se da comienzo a un nuevo proceso continuo de mejora en materia de
	Fiabilidad y durabilidad.

Fuente: elaboración propia.

- Actividades fundamentales
 - Mantenimiento autónomo: comprende la participación activa por parte de los operarios en el proceso de prevención a los efectos de evitar averías y deterioros en las máquinas y equipos. Tiene especial trascendencia la aplicación práctica de las cinco S. Una característica básica del TPM es que son los propios operarios de producción quienes llevan a término el mantenimiento autónomo, también denominado mantenimiento de primer nivel. Algunas de las tareas fundamentales son: limpieza, inspección, lubricación, aprietes y ajustes. Aumento de la efectividad del equipo mediante la eliminación de averías y fallos, se realiza mediante medidas de prevención vía rediseño-mejora o establecimiento de pautas para que no ocurran.
 - Mantenimiento planificado: implica generar un programa de mantenimiento por parte del departamento de mantenimiento. Constituye el conjunto sistemático de actividades programadas a los efectos de acercar progresivamente la planta productiva a los objetivos de: cero averías, cero defectos, cero despilfarros, cero accidentes y cero contaminación. Este conjunto de labores serán ejecutadas por personal especializado en mantenimiento.

- Prevención de mantenimiento: mediante los desarrollos de ingeniería de los equipos, con el objetivo de reducir las probabilidades de averías, facilitar y reducir los costos de mantenimientos; se trata pues de optimizar la gestión del mantenimiento de los equipos desde la concepción y diseño de los mismos, tratando de detectar los errores y problemas de funcionamiento que puedan producirse como consecuencia de fallos de concepción, diseño, desarrollo y construcción del equipo, instalación y pruebas del mismo hasta que se consiga el establecimiento de su operación normal con producción regular. El objetivo es lograr un equipo de fácil operación y mantenimiento, así como la reducción del período entre la fase de diseño y la operación estable del equipo y la elevación en los niveles de fiabilidad, economía y seguridad, reduciendo los niveles y riesgos de contaminación.
- Mantenimiento predictivo: consiste en la detección y diagnóstico de averías antes de que se produzcan. De tal forma pueden programarse los paros para reparaciones en los momentos oportunos. La filosofía de este tipo de mantenimiento se basa en que normalmente las averías no aparecen de repente, sino que tienen una evolución. Así pues el mantenimiento predictivo se basa en detectar estos defectos con antelación para corregirlos y evitar paros no programados, averías importantes y accidentes.

Entre los beneficios de su aplicación están:

- Reducción de paros.
- Ahorro en los costos de mantenimiento.
- Alargamiento de vida de los equipos.
- Reducción de daños provocados por averías.
- Reducción en el número de accidentes.
- Más eficiencia y calidad en el funcionamiento de la planta.
- Mejoras de relaciones con los clientes, al disminuir o eliminar los retrasos.

Entre las tecnologías utilizadas para el monitoreo predictivo se tienen:

- Análisis de vibraciones
- Análisis de muestras de lubricantes
- Termografía
- Análisis de las respuestas acústicas

5.1. Calendarización de reportes de rendimiento de maquinaria

El rendimiento es un concepto asociado al trabajo realizado por las máquinas, cabe destacar que el concepto de rendimiento se encuentra vinculado al de efectividad o de eficiencia. La efectividad mide la capacidad de alcanzar un efecto deseado. La eficiencia, por su parte, hace referencia a la capacidad de alcanzar dicho efecto con la menor cantidad de recursos disponibles.

Tabla X. **Calendario de reportes**

Descripción	Fecha de entrega
Primer reporte	Marzo
Segundo reporte	Junio
Tercer reporte	Septiembre
Reporte final	Diciembre

Fuente: elaboración propia.

5.1.1. Datos a utilizar para los reportes de rendimiento de maquinaria

- Código del equipo
- Nombre del equipo
- Nombre de operador
- Fecha último servicio
- Odómetro o kilometraje del último servicio
- Odómetro o kilometraje del próximo servicio
- Fecha de última actualización de datos
- Odómetro o kilometraje de última actualización
- Horas o kilómetros que faltan para el próximo servicio
- Tipo de servicio último
- Tipo de servicio próximo
- Reparaciones realizadas al equipo
- Proyectos Realizados
- Firma Ing. Industrial

5.2. Registro de información, periódicamente

Con el fin de archivar el desempeño de cada una de las maquinas se ha diseñado la siguiente ficha, en la cual se guarda información valiosa.

Figura 8. **Ficha de maquinaria**

Ficha de maquinaria
Fecha:
Código:
Marca:
Operador:
Mantenimiento rutinario:
Lubricación rutinaria:
Observaciones
Firma operario

Fuente: elaboración propia.

5.3. Conclusiones con base a la información

La búsqueda de una más eficaz y eficiente utilización de las máquinas y equipos hace menester tanto su planificación, como la capacitación del personal, pero para ello es fundamental que antes los directivos tomen conciencia de todos lo que está en juego a tras de un excelente sistema de mantenimiento. Tanto sea a nivel industrial cómo de servicios, tanto los costos, como la productividad, la calidad, la seguridad, la satisfacción del cliente y el cumplimiento de plazos depende en gran medida del no sólo buen funcionamiento de los equipos, sino del muy buen funcionamiento que de ellos pueda obtenerse.

Un mejor mantenimiento implica no sólo reducir los costos de reparaciones y los costos por improductividades debidos a tiempos ociosos, sino también elimina la necesidad de contar con inventarios de productos en proceso y terminados destinados a servir de colchón ante las averías producidas. Por supuesto que un mejor mantenimiento alarga la vida útil del equipo, como también permite un mejor precio de reventa. El mejor funcionamiento de las máquinas no sólo evita la generación de productos con fallas, también evita la polución ambiental, elimina los riesgos de accidentes y con ellos disminuye los costes del seguro, reduce o elimina los niveles de contaminación y las consecuente multas, incrementa los niveles de productividad, y por tanto los costos de producción. Todos estos son motivos más que suficientes, para considerar muy seriamente su implantación.

Es importante hacer la pregunta de por qué existiendo instrumentos o metodologías tan significativas para mejorar los rendimientos de las empresas, las mismas no son utilizadas? Las razones son numerosas y exponerlas lleva a la necesidad de otras investigaciones y exposiciones, pero entre las principales están: una visión a corto plazo en la cual se privilegia la obtención de utilidades inmediatas en oposición a la generación sostenida de beneficios a mediano y largo plazo, un segundo factor tiene que ver con la supervivencia de paradigmas propios de otra era del proceso económico productivo. Y el último factor a mencionar cómo importante, es la tradicional resistencia al cambio.

Los estudios relativos a la confiabilidad vienen recibiendo, en los últimos años, la atención de especialistas en diversos ramos de empresas, particularmente ligados al área de mantenimiento. Muchos son los trabajos desarrollados y en actual desarrollo, buscando la aplicación del llamado mantenimiento predictivo o mantenimiento previsorio, o control predictivo del mantenimiento, que tiene como objetivo, ejecutar el mantenimiento preventivo en equipos en el momento exacto, en que éstos interfieren en la confiabilidad del sistema.

CONCLUSIONES

1. Es importante considerar que la productividad de una industria aumentará en la medida que las fallas en las máquinas disminuyan de una forma sustentable en el tiempo. Para lograr lo anterior, resulta indispensable contar con la estrategia de mantenimiento más apropiada y con personal capacitado, tanto en el uso de las técnicas de análisis y diagnóstico de fallas implementadas como también con conocimiento suficiente sobre las características de diseño y funcionamiento de las máquinas.
2. En el presente trabajo se mencionaron varias de las técnicas de análisis utilizadas actualmente, entre las que destaca el análisis de vibraciones mecánicas, analizando su alcance, así como la necesidad de usar diferentes indicadores con el fin de llegar a un diagnóstico acertado. Diagnosticado y solucionado el problema, la vida de las máquinas y su producción aumentará, y por tanto, los costos de mantenimiento disminuirán.
3. La búsqueda de una eficaz y eficiente utilización de las máquinas y equipos hace menester tanto su planificación, como la capacitación del personal, para ello es fundamental que antes, los directivos tomen conciencia de todo lo que está en juego a tras de un excelente sistema de mantenimiento.

4. La notable importancia que tiene el TPM en la eliminación de desperdicios le confiere un lugar especial a nivel de aplicación e implementación a nivel industrial. Todavía una multitud de pequeñas y medianas empresas no han sabido tomar en debida consideración la gran importancia que tiene para el mejoramiento de sus resultados económicos la implementación de sistemas destinados a mejorar el mantenimiento de los equipos, el cambio rápido de herramientas, la reducción de los tiempos de reparación, la mejora en la planta y oficinas, el mejoramiento en los niveles de calidad, el control y reducción en el consumo de energía, la mayor participación de los empleados vía círculos de control de calidad, círculos de incremento de productividad y sistemas de sugerencias, entre otros. Son numerosas las armas de las cuales pueden disponer las pequeñas y medianas empresas, y son notables los resultados que de esta norma pueden obtener.

5. Un mejor mantenimiento implica, no sólo reducir los costos de reparaciones y los costos por improproductividades debidos a tiempos ociosos y muertos, alarga la vida útil del equipo, mejor funcionamiento de las máquinas, también evita la contaminación ambiental, elimina los riesgos de accidentes y reduce o elimina los niveles de contaminación, incrementa los niveles de productividad, y por tanto, baja los costos de operación.

RECOMENDACIONES

1. Implementar mantenimiento productivo total (TPM) como una necesidad de mejorar la calidad de los servicios del BIC. Tiene como concepto básico, la reformulación y la mejora de la estructura empresarial a partir de la reestructuración y mejora de las personas y de los equipos, con el compromiso de todos los niveles jerárquicos y el cambio de la postura organizacional. El TPM es una técnica que promueve un trabajo donde están siempre unidos bajo los mismos objetivos: el hombre, la máquina y la empresa.
2. Los empleados de todos los niveles deben ser educados y convencidos de que TPM no es un programa transitorio, sino que es un plan en el que los más altos niveles gerenciales se hallan comprometidos para siempre, incluida la gran inversión de tiempo mientras que dure su implementación. Si cada quien se compromete como debe, los resultados serán excelentes comparados con la inversión realizada.
3. La falta de conocimiento técnico es alto en el personal operativo, por eso este proyecto sugiere una serie de entrenamientos que contribuyen a la formación y al logro de los objetivos del mantenimiento predictivo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Congreso de la república de Guatemala. *Ley constitutiva del Ejército*. [en línea] www.resdal.org/guatemala-ley-constitutiva-ejercito.htm [Consulta: 18 de diciembre de 2010].
2. DUFFUA, Salih. *Sistemas de mantenimiento*. México: Limusa, 2000. 419 p.
3. GARCÍA, Santiago. *Mantenimiento industrial*. Chile: Renovetec, 2001. 45 p.
4. GONZÁLEZ, Francisco Javier. *Mantenimiento industrial avanzado*, España: Taurus, 2004. 85 p.
5. MONTGOMERY, Douglas C. HINES, William W. *Probabilidad y estadística para ingeniería y administración*. México: Continental, 1994. 668 p.
6. NAVARRO, Elola Luiz. *Gestión integral del mantenimiento*. España: Marcombo, 1997. 116 p.
7. PISTARELLI, Alejandro J. *Manual de mantenimiento*. Argentina: Garzon, 2001. 125 p.

8. RABELO, Eduardo Manuel. *Ingeniería de mantenimiento*.
Argentina: Nueva Librería, 1997. 357 p.