



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

**READECUACIÓN CURRICULAR DEL CURSO DE  
MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS**

**Luis Manuel Castillo Briones**

Asesorado por el M.A. Ing. Julio César Campos Paiz

Guatemala, octubre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**READECUACIÓN CURRICULAR DEL CURSO DE  
MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**LUIS MANUEL CASTILLO BRIONES**

ASESORADO POR EL M.A. ING. JULIO CÉSAR CAMPOS PAIZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Pablo Rodolfo Zúñiga Ramírez
EXAMINADOR	Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez 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:

### **READECUACIÓN CURRICULAR DEL CURSO DE MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 24 de febrero de 2014.

  
**Luis Manuel Castillo Briones**

Guatemala, 1 de septiembre de 2015

Ing. Roberto Guzmán Ortiz  
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Guzmán:

Por este medio le informo que ha finalizado la etapa de asesoría del trabajo de graduación titulado: **"READECUACION CURRICULAR DEL CURSO DE MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS"**, realizado por el estudiante **Luis Manuel Castillo Briones, carne No 2000-10931** considerando que cumple con el contenido y objetivos propuestos en el protocolo aprobado por la Escuela de Ingeniería Mecánica.

Atentamente



MA Ing. Julio César Campos Paiz  
Colegiado No 2701

MA Ing. Julio César Campos Paiz  
Ingeniero Mecánico  
Colegiado No. 2701

JCCP/jc  
CC: Archivo

Ref.E.I.M.268.2015

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **READECUACIÓN CURRICULAR DEL CURSO DE MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS** del estudiante **Luis Manuel Castillo Briones** recomienda su aprobación.

**"Id y Enseñad a Todos"**



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Coordinador del Área Complementaria  
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, septiembre de 2015



**USAC**

TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.298.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria del trabajo de graduación titulado: **READECUACIÓN CURRICULAR DEL CURSO DE MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS** del Estudiante **Luis Manuel Castillo Briones** Carné No. **2000-10931** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

**"Id y Enseñad a Todos"**

  
Ing. Roberto Guzmán Ortiz  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, octubre  
de 2015

/aej



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, al trabajo de graduación titulado: **READECUACIÓN CURRICULAR DEL CURSO DE MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS**, presentado por el estudiante universitario: **Luis Manuel Castillo Briones**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, octubre de 2015

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ser el guía, la luz que ilumina mi camino, por ser fuente de toda sabiduría, la fuerza y capacidad para culminar este triunfo.
- Mi padre** Marco Antonio Castillo Monterroso, por ser modelo y ejemplo a seguir, por su amor y apoyo incondicional en todo momento.
- Mis hermanos** Por su apoyo y comprensión durante toda mi carrera estudiantil.
- Mis amigos** Por la ayuda que nos dimos a lo largo de la carrera.
- Mi asesor** Por la paciencia y la guía para concluir esta meta.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN .....	XIII
OBJETIVOS .....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. ANTECEDENTES .....	1
1.1. Red de estudios de la carrera de Ingeniería Mecánica .....	1
1.2. Contenido actual del curso de Montaje y Mantenimiento de Equipos .....	2
1.3. Propuesta de división del curso de Montaje y Mantenimiento de Equipos .....	2
2. MANTENIMIENTO MECÁNICO DE MAQUINARIA Y EQUIPOS INDUSTRIALES .....	5
2.1. Conceptos básicos sobre el mantenimiento de equipo .....	5
2.2. Índole del problema del mantenimiento .....	7
2.3. Eficiencia del mantenimiento .....	8
2.4. Tipos de decisión requeridos respecto al mantenimiento .....	9
2.5. Actividades del mantenimiento .....	15
2.6. Tipos de mantenimiento .....	15
2.7. Funciones específicas de acuerdo al tipo de mantenimiento ...	17
2.8. Funciones secundarias del mantenimiento .....	19

2.9.	Relación entre los departamentos de mantenimiento y producción de la empresa .....	20
2.10.	Nociones generales sobre mantenimiento preventivo por intercambio programado de componentes .....	20
2.11.	Casos prácticos de mantenimiento aplicado a varios equipos industriales.....	21
2.11.1.	Descripción de partes .....	21
2.11.2.	Pruebas .....	22
2.11.3.	Mantenimiento de accesorios .....	24
2.11.4.	Herramienta y equipo .....	24
2.11.5.	Averías, causas y remedios típicos .....	25
2.12.	Desgaste .....	30
2.13.	Corrosión .....	32
2.14.	Seguridad e higiene industrial .....	38
2.15.	Gestión ambiental en el mantenimiento.....	41
2.16.	Ética en el mantenimiento .....	42
2.17.	<i>Benchmarking, outsourcing y empowerment</i> .....	44
2.18.	Administración del mantenimiento.....	51
2.19.	Gestión económica del mantenimiento.....	55
2.20.	Mejora continua en la productividad del mantenimiento .....	58
2.21.	Normas para el mantenimiento de equipos .....	59
3.	<b>MONTAJE DE MAQUINARIA Y EQUIPOS INDUSTRIALES .....</b>	<b>63</b>
3.1.	Análisis de suelos .....	63
3.1.1.	Orígenes y procesos de formación .....	63
3.1.2.	Composición mineral del suelo .....	65
3.1.3.	Terminología de la ingeniería de suelos .....	68
3.1.4.	Problemas y propiedades ingenieriles .....	71
3.1.5.	Principios de clasificación de los suelos .....	73

3.1.6.	Identificación de campo .....	75
3.1.7.	Características granulométricas .....	79
3.1.8.	Modelo del suelo y propiedades básicas.....	81
3.1.9.	Densidades de los suelos .....	85
3.2.	Cimentación de máquinas .....	88
3.2.1.	Conceptos generales sobre cimentación .....	88
3.2.2.	Análisis de cargas .....	89
3.2.3.	Factor de diseño .....	92
3.2.4.	Vibraciones como factor de diseño .....	94
3.2.5.	Concreto armado .....	96
3.2.6.	Proyectos de cimentación .....	97
3.3.	Anclaje.....	100
CONCLUSIONES .....		105
RECOMENDACIONES.....		107
BIBLIOGRAFÍA.....		109
ANEXOS .....		111



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Partes de un torno paralelo .....	22
2.	Ataque galvánico.....	33
3.	Corrosión por fisuras .....	36
4.	Costos de ingresos .....	56
5.	Las 5S .....	62



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>cms</b>	Centímetros
<b>m</b>	Metro
<b>mm</b>	Milímetro
<b>%</b>	Porcentaje
<b>RPM</b>	Revoluciones por minuto
<b><math>\sigma</math></b>	Sigma



## GLOSARIO

<b>Ánodo</b>	Electrodo positivo.
<b>Arpón</b>	Instrumento que se compone de un astil de madera armado por uno de sus extremos con una punta de hierro que sirve para herir o penetrar, y de otras dos que miran hacia el astil y hacen presa.
<b>Arponado</b>	Parecido al arpón.
<b>Carcasa</b>	Esqueleto (conjunto de piezas duras y resistentes). Cierta bomba incendiaria.
<b>Cátodo</b>	Electrodo negativo.
<b>Chumacera</b>	Pieza de metal o madera, con una muesca en que descansa y gira cualquier eje de maquinaria.
<b>Cíclico</b>	Perteneiente o relativo al ciclo.
<b>Ciclópeo</b>	Perteneiente o relativo a los cíclopes. Dicho de ciertas construcciones antiquísimas: Que se distinguen por el enorme tamaño de sus piedras, unidas por lo común sin argamasa.

<b>Cohesión</b>	La resistencia al corte de un suelo a una tensión normal.
<b>Deflexión</b>	Desviación de la dirección de una corriente.
<b>Delta</b>	Terreno comprendido entre los brazos de un río en su desembocadura.
<b>Elastómero</b>	Materia natural o artificial que, como el caucho, tiene gran elasticidad.
<b>Electrostático</b>	Parte de la física, que estudia los sistemas de cuerpos electrizados en equilibrio.
<b>Estuario</b>	Desembocadura de un río caudaloso en el mar, caracterizada por tener una forma semejante al corte longitudinal de un embudo, cuyos lados van apartándose en el sentido de la corriente, y por la influencia de las mareas en la unión de las aguas fluviales con las marítimas.
<b>Freático</b>	Dicho del agua, que está acumulada en el subsuelo y puede aprovecharse por medio de pozos.
<b>Herrumbre</b>	Óxido del hierro.
<b>Holgura</b>	Espacio suficiente para que pase, quepa o se mueva dentro algo.

<b>Inherente</b>	Que por su naturaleza está de tal manera unido a algo, que no se puede separar de ello.
<b>Lixiviación</b>	Acción y efecto de lixiviar.
<b>Lixiviar</b>	Tratar una sustancia compleja, como un mineral, con un disolvente adecuado para separar sus partes solubles de las insolubles.
<b>Martinete</b>	Mazo, generalmente de gran peso, para batir algunos metales, abatanar los paños, entre otros.
<b>Mecanización</b>	Acción y efecto de mecanizar.
<b>Paralelepípedo</b>	Sólido limitado por seis paralelogramos, cuyas caras opuestas son iguales y paralelas.
<b>Pétreo</b>	Material que está constituido o recubierto por rocas o piedras.
<b>Provisional</b>	Que se hace, se halla o se tiene temporalmente.
<b>Provisorio</b>	Provisional.
<b>Talud</b>	Inclinación del paramento de un muro o de un terreno.
<b>Tangible</b>	Que se puede percibir de manera precisa.

<b>Terraplén</b>	Desnivel con una cierta pendiente.
<b>Termografía</b>	Registro gráfico del calor emitido por la superficie de un cuerpo en forma de radiaciones infrarrojas, que tiene aplicaciones médicas, técnicas, entre otras.
<b>Resiliencia</b>	Es la cantidad de energía que absorbe un material al momento de romperse por un impacto.

## **RESUMEN**

La propuesta se deriva del diagnóstico del desempeño profesional alcanzado, elaborado por medio de encuestas que mostraron que los conocimientos complementarios son considerados prioritarios en el área de conservación y montaje de maquinaria y equipos. Además, se evaluaron los planes y programas de estudio de la carrera de Ingeniería Mecánica, a efecto de introducir las mejoras pertinentes, acordes con los avances de la ciencia, la tecnología y las necesidades del país. Se busca proporcionar al estudiante las herramientas necesarias que le permitan profundizar en los temas para alcanzar un nivel académico adecuado y una competencia profesional adecuados para aplicarlos en el mantenimiento y montaje de equipos y maquinaria industrial.

Durante el desarrollo de este trabajo de graduación se han analizado los distintos temas de cada curso, se han identificado sus debilidades y fortalezas, y se han ampliado sus contenidos programáticos, para mejorar los conocimientos sobre los distintos tipos de mantenimiento y montaje de maquinaria y equipos industriales.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Definir la propuesta de división curricular del curso Montaje y Mantenimiento de Equipos para habilitar los cursos de Mantenimiento Mecánico de Maquinaria y Equipos Industriales, y Montaje de Maquinaria y Equipos Industriales, de la Escuela de Ingeniería Mecánica, como parte de la política de actualización curricular de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

### **Específicos**

1. Concretar la propuesta de división de los cursos de Montaje de Maquinaria y Equipos Industriales, y Mantenimiento Mecánico de Maquinaria y Equipos Industriales, esfuerzo que se justifica en aras de alcanzar la excelencia académica que permita que la carrera de Ingeniería Mecánica, atendida por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, sea competitiva en la oferta de servicios profesionales, dentro y fuera del territorio nacional, mostrando el resultado de analizar qué conocimientos complementarios se consideran prioritarios en el área de conservación y montaje de maquinaria y equipo.
2. Distribuir uniformemente los temas a tratar en el curso de Montaje de Maquinaria y Equipos Industriales y el curso de Mantenimiento Mecánico

de Maquinaria y Equipos Industriales, derivados del curso anterior, más otros temas afines para el fortalecimiento de los mismos.

3. Actualizar los contenidos de los cursos propuestos como división del curso de Mantenimiento y Montaje de Equipos, vinculados con las exigencias para la acreditación de los programas de la red de estudios de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

## INTRODUCCIÓN

Tomando en cuenta la realidad actual, es hora de considerar la importancia de implementar un sistema educativo que permita otorgar las suficientes facilidades, tanto para el docente como para el estudiante, en vista de motivar y promover lo que actualmente es requerimiento de la sociedad, “El enseñar a aprender” o bien “Aprender a aprender”. Esta nueva visión de educación se enmarca en un modelo en el que es necesario que el profesional adopte una educación que, además de permitirle un correcto desenvolvimiento en su área específica, le permita adaptarse a cualquier otra circunstancia o requerimiento de su fuente laboral. Es decir, que cuente con los conocimientos generales –tal como era la educación antes-, pero que, a su vez, tenga una especialización y conocimiento a fondo de un área en particular.

Así, este aspecto reviste de gran importancia en el ámbito educacional, pues se refiere a modificar y actualizar todo el aparato de la educación, partiendo desde las políticas jurídicas, económicas y sociales que lo regulan, hasta interiorizar en su estructuración. En ese sentido, dentro de las modalidades educativas, se debería promover una enseñanza abierta que permita, por una parte, la subsistencia de una relación directa, una interacción no necesariamente continua, entre el docente y el alumno, y entre los alumnos y, por otra, la transmisión de conocimiento e información, permitiendo así que el alumno avance a su propio ritmo de aprendizaje, de forma individual e independiente.

Ahora bien, está claro que tratándose de una educación no limitada a un espacio físico, para lograr su éxito se deberán implementar los respectivos

medios necesarios, a través de mecanismos que permitan exteriorizar los programas de estudio de este modelo y así, obtener los recursos para la adquisición de dichos medios o, expresando de otra manera, que permitan crear las formas en las que se pueda impartir la enseñanza.

# 1. ANTECEDENTES

A continuación se presentan algunos aspectos del curso actual de Montaje y Mantenimiento de Equipos.

## 1.1. Red de estudios de la carrera de Ingeniería Mecánica

En la red de estudios de la carrera de ingeniería mecánica existen áreas de estudios profesionales que están subdivididas en cuatro áreas. Cada área agrupa los cursos que se relacionan entre sí en el campo de trabajo, estas áreas son:

- Área de diseño
- Área térmica
- Área de materiales
- Área complementaria

En la última área está el curso de Montaje y Mantenimiento de Equipo, que provee al estudiante de la información que le permite planificar y organizar un departamento de mantenimiento industrial, proporciona los principios de cimentación de máquinas y montaje de las mismas. También proporciona los conocimientos para el diseño e implementación del mantenimiento de un sistema típico aplicado.

## **1.2. Contenido actual del curso de Montaje y Mantenimiento de Equipos**

El contenido programático del curso de Montaje y Mantenimiento de Equipo es el siguiente:

- Generalidades sobre mantenimiento.
- Cimentación de máquinas.
- Casos prácticos de mantenimiento aplicados a algunos equipos (lavadoras, secadoras industriales, calderas, plantas de emergencia, incineradores, entre otros).
- *Benchmarking, outsourcing y empowerment.*
- Desgaste y abrasión.
- Seguridad e higiene industrial en el mantenimiento.
- Medio ambiente en el mantenimiento.
- Ética en el mantenimiento.
- Normas para la fabricación, cimentación, montaje y mantenimiento de equipos.

## **1.3. Propuesta de división del curso de Montaje y Mantenimiento de Equipos**

El curso de Montaje y Mantenimiento de Equipos de la Escuela de Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala está sobrecargado en cuanto a su contenido, por lo que se propone la separación del mismo en los cursos siguientes:

- Mantenimiento Mecánico de Maquinaria y Equipos Industriales
- Montaje de Maquinaria y Equipos Industriales

Estos deberán contener una ampliación de conocimientos actualizados de los temas, para que en cada uno de ellos se implementen los conceptos necesarios y se profundice en cada tema, obteniendo un mejor proceso enseñanza-aprendizaje y alcanzando la competencia profesional del curso para un mejor desempeño.

Los planes y programas de estudio de la carrera de Ingeniería Mecánica se evaluaron a efecto de introducirle las mejoras pertinentes, acordes con los avances de la ciencia, la tecnología y las necesidades del país.



## **2. MANTENIMIENTO MECÁNICO DE MAQUINARIA Y EQUIPOS INDUSTRIALES**

Se considera que mantenimiento es la serie de trabajos que hay que ejecutar en algún equipo, máquina o instalación industrial, para conservarlo y que dé el servicio para el que fue diseñado.

La naturaleza crea pero no mantiene, por lo tanto, el mantener es atributo del hombre. Al fijar la atención en la función que desarrolla la naturaleza, se notará inmediatamente que es infatigable en la creación; a cada instante nacen seres, asombrosas “máquinas” vivientes, las que deben ser mantenidas para que no perezcan. En este caso, las mismas “máquinas” atienden su propio mantenimiento, al proveerse de alimento, abrigo, entre otras cosas, para seguir subsistiendo. En lo que respecta a los equipos diseñados por el hombre, hasta la fecha no se tienen los avances apropiados en este aspecto, pues, aunque existen mecanismos que hacen la mayor parte del mantenimiento a otros equipos de producción, hay, en realidad, un gran número de personas que integran el mantenimiento.

### **2.1. Conceptos básicos sobre el mantenimiento de equipo**

Para el administrador, el objetivo del mantenimiento es la conservación, ante todo, del servicio que están suministrando los equipos, instalaciones y otros. Este es el punto esencial, y no como erróneamente se ha creído que el mantenimiento está obligado a la conservación de tales elementos, el servicio es lo importante y no la maquinaria que lo proporciona. Por tal motivo, se debe equilibrar en las labores de mantenimiento los factores esenciales siguientes:

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

Desde el punto de vista de costos, estos tres factores dan a conocer que existe un costo total de servicio, el cual resulta de: costo inicial del equipo considerando su depreciación, costo de mantenimiento considerado su incremento y costo de falta de servicio.

La adquisición de equipo nuevo acarrea costos elevados, sobre todo porque inicialmente su depreciación es acelerada, aunque esto se compensa por los costos de mantenimiento bajos, pues la expectativa de falla es menor.

Conforme se envejece el equipo, sus componentes se desgastan, aumentando la frecuencia de fallas y, como consecuencia, los gastos de mantenimientos son mayores.

Un aumento de la frecuencia de fallas y de servicios por fallas, causa pérdidas en el ingreso que origina la prestación del servicio, de tal manera que el costo total aumenta tanto que hace prohibitivo el uso de equipo.

El costo de mantenimiento industrial, incluyendo las ramas de construcción y servicios, es cada vez mayor. Estudios revelan que representan el 5 % del valor de las ventas (en la industria de acero llega al 12 %). Un buen servicio de conservación de instalaciones y equipos busca reducir al mínimo las suspensiones del trabajo, al mismo tiempo que hace más eficaz el empleo de los recursos humanos, a efecto de conseguir los mejores resultados con el menor costo posible. Las necesidades de tener una organización apropiada de mantenimiento, de programar y planear con acierto, han sido puestas en relieve

por una creciente mecanización, aumento de inventarios de repuestos, controles más estrictos de producción, plazo de entrega cortos, exigencia creciente de buena calidad, costos mayores, entre otros. La importancia que actualmente tiene el mantenimiento ha revelado varias actitudes de la administración del mismo, susceptibles a mejorar.

## **2.2. Índole del problema del mantenimiento**

Todos los medios físicos de propiedad de una planta pueden fallar o deteriorarse por causas naturales de antigüedad o por defectos de uso, es posible que las causas del deterioro o fallas sean inherentes al equipo, o bien, a consecuencia de factores externos, como el medio circundante y el personal que en él interviene.

La falla conlleva a gastos con el propósito de reponer o reparar las instalaciones en sí o por pérdidas de producción o servicios, además de los gastos que surgen por desocupación de equipo y personal dependiente. Es factible tomar medidas que disminuyan al mínimo la probabilidad de fallas y conservar así un determinado nivel de mantenimiento para prevenirlas, generalmente denominado mantenimiento preventivo. Sin embargo, este mantenimiento para prevenir fallas, implica, de por sí, importantes gastos. Si el único objetivo consiste en prevenir fallas, puede ocurrir que se gaste demasiado en conducir un programa de mantenimiento y que el costo de prevención exceda el que sería causado por las eventuales fallas. No obstante, como sucede con todas las actividades basadas en el costo, existe un punto de equilibrio en la curva de costo-falla-mantenimiento que marca el estado óptimo entre el nivel del mantenimiento preventivo y el efecto de las fallas.

### **2.3. Eficiencia del mantenimiento**

Desde el punto de vista de operaciones, el mantenimiento es eficiente si impide las averías o, en caso de que existieran, si vuelve a poner en servicio el equipo en el menor tiempo posible.

Desde el punto de vista de control de mano de obra, el mantenimiento es eficaz si todo el personal trabaja en todo momento sobre un nivel normalizado de esfuerzo, sin excederse en cuanto a tiempo desocupado razonable y necesario para reponer el cansancio y satisfacer los requisitos personales.

Desde el punto de vista del control de costos, la eficiencia del mantenimiento podrá medirse en función de la capacidad del departamento del mismo fin de no sobrepasar su presupuesto de materiales y mano de obra.

El encargado de seguridad considera eficaz el mantenimiento cuando no se producen accidentes atribuibles a máquinas y equipos.

Cada uno de estos criterios es real y razonable, con ciertas reservas, una limitación consiste en que ninguno de los criterios puede considerarse independiente de los demás, porque a causa de sus características individuales están en pugna unos con los otros. Por ejemplo, satisfacer los criterios de producción en cuanto a la prevención de desarreglos o la restauración del equipo a la mayor brevedad posible, engendra ineficiencia según los demás criterios, pues es imprescindible una gran cantidad de personal de mantenimiento para tener un servicio rápido en un momento de averías.

Como las averías sobrevienen en forma aleatoria, el departamento de mantenimiento tendrá que contar con personal suficiente para satisfacer la

demanda máxima, lo cual crearía un exceso de desocupación en los periodos en que la demanda es mínima, y así, desde el punto de vista de mano de obra, baja significativamente la medida de eficiencia. Al mismo tiempo, con el fin de reintegrar rápidamente una maquina fallada, se toman medidas provisionales para que el equipo trabaje hasta el próximo periodo de desocupación programada, que es cuando se hará la reparación permanente.

Las reparaciones provisionales incrementan la inseguridad y reducen la eficiencia del criterio correspondiente.

Simultáneamente, el personal excesivo, el mantenimiento permanente después de la reparación provisional y la necesidad de tener existencias de repuestos para asegurar composturas rápidas, aumentaran los costos, disminuyendo así la eficiencia desde el punto de vista de control de costos.

Efectos análogos pueden imaginarse con respecto a los demás criterios, si alguno aisladamente se maximiza. Las decisiones en cuanto al intercambio entre eficiencias son a menudo bastante arbitrarias y, en el mejor de los casos, se utilizan tan solo técnicas de equilibrio cualitativo. Por medio de un enfoque sistemático, basándose en el costo total como criterio, se pueden equilibrar los criterios tradicionales.

#### **2.4. Tipos de decisión requeridos respecto al mantenimiento**

Las decisiones respecto al mantenimiento son las siguientes:

- Mantenimiento preventivo contra averías
- Personal de servicio interno o externo
- Reparación o reposición

- Existencia de repuestos
- Control de asignación de tareas

Aunque la lista no es completa, representa los puntos críticos en la aplicación de cualquier programa de mantenimiento.

- Mantenimiento preventivo contra averías

Puede decirse que el mantenimiento natural sirve para reparar algo que ha fallado. Este criterio debe ser desechado, las averías son costosas, directamente o indirectamente, ya que pocas veces falla uno de los elementos de una instalación sin provocar un desarreglo en un componente relacionado, con lo que se reduce su tiempo admisible de averías, efecto difícil de medir y que por ser secundario se pasa por alto en la matemática analítica de averías, suponiéndole como avería independiente del componente. Esto produce una diferencia entre la tasa de averías teóricas de un sistema y la tasa real determinada según datos históricos o muestreos.

Además de causar un efecto adverso en otros componentes del sistema, las averías dañan con frecuencia los materiales en proceso y, de acuerdo con su índole, pueden crear riesgos para el personal de producción. Por otra parte, se desajustan los programas de producción y disminuye la eficiencia de otros medios y personal en la instalación, aumentando los costos de producción y operación. Por añadidura, una reparación será probablemente indispensable después de una avería, a menos que se disponga al momento de los repuestos, herramienta y personal capacitado para efectuarla, se alarga el periodo de merma en la producción y, en consecuencia, aumenta la magnitud de efectos adversos en cuanto a costos.

Para subsanar o reducir estos efectos negativos y los gastos derivados se recurre al mantenimiento preventivo, así se denomina cualquier actividad llevada a cabo con el fin de disminuir la probabilidad de averías. En su forma más simple, el mantenimiento preventivo podría limitarse a la lubricación periódica de equipo para evitar daños excesivos por desgaste. En el otro extremo, el mantenimiento preventivo consistirá en retirar del servicio las máquinas para realizar su reconstrucción total. Entre uno y otro extremo es posible encontrar una serie de procedimientos de inspección, evaluación y acción para reducir la probabilidad de averías entre una y otra reconstrucción y así aumentar los intervalos entre las mínimas.

En la tentativa de aminorar las averías, la extensión de las operaciones de mantenimiento preventivo puede llegar a tal punto de que su costo exceda al de las averías, incumbe al ingeniero encargado de mantenimiento determinar el punto de equilibrio entre costos de averías y mantenimiento preventivo.

El objetivo es proporcionar la cantidad adecuada de mantenimiento preventivo, es encontrar que su costo sea igual al costo de averías, al mismo tiempo que coincida con el costo total mínimo.

- Empleo de personal de servicio interno o externo

La decisión de proveer personal o los medios necesarios para el mantenimiento en la misma organización de la firma o de utilizar servicios externos es, ante todo, de índole económico; surge el problema de evaluar la economía de las alternativas, sin embargo, ninguna política puede ser mejor para las funciones de mantenimiento. Uno de los mayores gastos de una empresa que tiene sus medios propios de mantenimiento es el de la mano de obra, por hora de uso. El costo varía cuando se modifica la utilización de tal

mano de obra, de donde incorporar esa variación de costos en modelo de decisión resulta una tarea difícil.

Si se trata de asignar individuos a una serie de operaciones de mantenimiento, surge la posibilidad de aplicar una técnica de simulación con el fin de establecer la magnitud económica de una cuadrilla para actividades fijas o, a la inversa, grupos de operaciones de mantenimiento para una cantidad fija de individuos, incrementando la variable hasta establecer el punto mínimo en la curva de costos total, queda aún por comparar el costo de ese óptimo con el que produce el mismo servicio recurriendo a fuentes externas. Los costos relacionados con el personal de mantenimiento, en comparación con los servicios externos, incluyen:

- Costo directo e indirecto de mano de obra por tiempo completo.
  - Costo por tenencia de existencias de repuestos mayores que las necesarias si se utilizan servicios externos.
  - Valor por menor tiempo improductivo por reparaciones, en la mayoría de los casos, con personal propio se reduce el tiempo entre la avería y el principio de reparación. Sin embargo, no siempre será así, pues el personal propio puede ser menos adecuado para proveer el servicio que el personal de una organización especializada.
- Reparación o reposición

Una vez más se está frente a un problema fundamentalmente económico. En síntesis, los principios básicos de evaluación y decisión, frente al problema de reposición son los siguientes:

- Los costos de inversión del equipo anterior son costos disminuidos y no deben influir en la decisión.
- Al comprar alternativas, cada una de ellas ha de ser capaz de satisfacer los requisitos del proceso respecto al cual se considera si las demandas aumentan más allá de la vida prevista de una alternativa hasta un punto que no pueda satisfacer los requerimientos, la decisión tiene que basarse en la reposición o suplemento para satisfacer el exceso de demanda en el momento de producirse.
- El costo inicial del nuevo equipo es el del equipo instalado, listo para trabajar.
- El costo del equipo existente es el valor de venta, menos el valor de remoción (en el caso que se cambie), más cualquier costo de reparación o transformación con el fin de atender las demandas del proceso (en el caso de que se repare o se modifique).
- La decisión se basa en el costo anual medio, que es igual a la suma de costos de inversión (amortización y retorno sobre inversión), costos de operación (mano de obra y mantenimiento) y gastos generales (impuesto y seguros).
- El valor de producción perdido durante el cambio (si no es directamente recuperable) es parte del costo del equipo causante de la pérdida.
- Cuando surge la cuestión de reparación o reposición, son tres las opciones que se presentan.
  - Mantener el equipo actual en condiciones de funcionamiento.
  - Reparar o modificar el equipo actual.
  - Reponer el equipo actual.

- Existencia de repuestos

La existencia de repuestos presenta los mismos costos que los depósitos de materia prima o los inventarios de los productos terminados, es decir, costos de pieza, de espacio, de pedido y transporte; a ello se agrega el que sobreviene cuando no se dispone de una pieza en el momento necesario. Este último puede resultar considerable, puesto que el costo originado por la falla de la pieza puede representar todos los costos de producción perdida.

- Control de asignación de tareas de mantenimiento

Antes de estudiar el control de asignación de tareas, se deben establecer los objetivos de su costo. El objetivo no consiste en minimizar el costo directo de mantenimiento, sino fundamentalmente reducir el costo total de mantenimiento y tiempo perdido. El costo de tiempo perdido incluye, en este caso, todos los costos relacionados con la incapacidad del equipo para rendir con eficiencia a causa de su estado, el ingreso que compensa ese costo es el valor agregado al producto cuando el equipo trabaja. Si se debe minimizar el costo verdadero, puede resultar necesario prescindir en ciertos momentos de la utilización de la fuerza de mantenimiento con el fin de tenerla disponible cuando se la necesite en periodos críticos.

Obsérvese que cabe la posibilidad de disminuir los periodos de poca utilización recurriendo a servicio externos cuando se produce un máximo de demanda; de esto se deduce que tener el equipo funcionando será el factor principal y la utilización del personal de mantenimiento puede ser baja, con el fin de elevar la utilización de los equipos de producción.

## **2.5. Actividades del mantenimiento**

Tiene como objetivo conservar en perfecto estado de funcionamiento todos los elementos productivos de la empresa, para lograr su máximo rendimiento, con la calidad adecuada y con un mínimo costo. Implica las siguientes actividades:

- Eliminar averías sistemáticas que producen un aumento en los costos de mantenimiento.
- Reparar las averías que puedan producirse en máquinas e instalaciones en un mínimo tiempo.
- Verificar la calidad de fabricación de máquinas e instalaciones para evitar deterioros prematuros.
- Reacondicionar máquinas e instalaciones para conseguir un estado próximo al que tenían nuevas.
- Prever las posibles averías con anticipación suficiente para que estas no se produzcan, eliminando los paros imprevistos.
- Realizar una correcta gestión de existencia de repuestos y de materiales de mantenimiento para disminuir las inmovilizaciones de almacén.

## **2.6. Tipos de mantenimiento**

Tradicionalmente, se han distinguido 5 tipos de mantenimiento, que se diferencian entre sí por el carácter de las tareas que incluyen

- **Mantenimiento correctivo:** es el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios de los mismos.

- Mantenimiento preventivo: es el mantenimiento que tiene por misión conservar un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las intervenciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno. Suele tener un carácter sistemático, es decir, se interviene aunque el equipo no haya dado ningún síntoma de tener un problema.
- Mantenimiento predictivo: es el que persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones, mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables representativas de tal estado y operatividad. Para aplicar este mantenimiento es necesario identificar variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, entre otras), cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo. Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues requiere de medios técnicos avanzados y, en ocasiones, de fuertes conocimientos matemáticos, físicos y técnicos.
- Mantenimiento cero horas (*overhaul*): es el conjunto de tareas cuyo objetivo es revisar los equipos a intervalos programados antes de que aparezca ningún fallo o cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido apreciablemente de manera que resulta arriesgado hacer previsiones sobre su capacidad productiva. Dicha revisión consiste en dejar el equipo a cero horas de funcionamiento, es decir, como si el equipo fuera nuevo. En estas revisiones se sustituyen o se reparan todos los elementos sometidos a desgaste. Se pretende asegurar, con gran probabilidad, un tiempo de buen funcionamiento fijado de antemano.
- Mantenimiento en uso: es el mantenimiento básico de un equipo, realizado por los usuarios del mismo. Consiste en una serie de tareas

elementales (tomas de datos, inspecciones visuales, limpieza, lubricación, reapriete de tornillos) para las que no es necesario una gran formación, sino tan solo un entrenamiento breve. Este tipo de mantenimiento es la base del TPM (*total productive maintenance*, mantenimiento productivo total).

## **2.7. Funciones específicas de acuerdo al tipo de mantenimiento**

Se clasifican de acuerdo con la naturaleza de su actuación:

- Mantenimiento de avería
  - Reparación de averías: se produce cuando la maquinaria o instalación ha dejado de funcionar.
  - Mantenimiento de avería: se ha previsto el tipo de avería por medios estadísticos o instrucciones del fabricante.
  
- Mantenimiento preventivo: conservación planeada, reducir depreciaciones excesivas, es la acción de mantener en buen estado el equipo (leer manuales), se realiza a través de:
  - Visitas: inspecciones o verificaciones periódicas, verificar las inspecciones en el lugar de trabajo, ser rápidas, duración planeada, menor a 1 hora, no desarmar mecanismos complejos, realizar pequeñas reparaciones (no paro excesivo).
  - Revisiones: intervenciones que se realizan sobre instalaciones o maquinarias para detectar o confirmar las anomalías realizadas durante la visita.

- Mantenimiento correctivo: actividad humana desarrollada en maquinaria, instalaciones o edificios cuando, a consecuencia de una falla, han dejado de prestar la calidad de servicio para lo que fueron diseñadas.
  
- Facetas del mantenimiento
  - Primario
  - Reparación y reemplazo planeado
  - Reparación de emergencia
  
- Mantenimiento primario: incluye operaciones de visitas, publicaciones, ajustes periódicos necesarios para asegurar el funcionamiento eficiente de la maquinaria en cuanto a reparación y reemplazo.
  
- Registros mínimos para organizar y controlar un programa de mantenimiento:
  - Ficha histórica del equipo
  - Hoja de ruta o programa de mantenimiento
  - Orden de tarea de mantenimiento
  
- Inventario técnico de equipo y herramientas: primer instrumento con que cuenta un buen departamento de mantenimiento para realizar cualquier programa de mantenimiento preventivo, con el fin de disminuir la probabilidad de averías.
  - Anverso: información requerida en cada uno de los equipos durante el levantamiento del inventario técnico.

- Reverso: llevar un récord de las intervenciones en el equipo inmediatamente después de levantado el inventario.

## **2.8. Funciones secundarias del mantenimiento**

- Servicios generales: formado por el mantenimiento y vigilancia en general de las instalaciones de la planta, como las instalaciones de vapor, agua (caliente o fría), aire comprimido, eléctricas de baja y alta tensión, edificación, pistas de acceso y jardinería.
- Su acción específica son los transportes dentro de la planta, con la seguridad que las líneas y secciones de producción estén provistos de materias primas, herramientas, entre otros, manteniendo en movimiento el material de desperdicio que se acumula. Hacer cualquier tipo de transporte que se deba efectuar dentro de la instalación.
- Trabajos nuevos: se le asigna al mantenimiento actividades que el personal debe estar capacitado para realizar, como: carpintería, fontanería, albañilería, pintura, soldadura, entre otras. Esto se hace para acortar gastos a la empresa.
- Seguridad e higiene: va incluida en el mantenimiento, por el servicio de la fábrica, para conocer la situación de cada equipo por alguna posible falla que pueda poner en riesgo al personal.
- Limpieza: debe mantenerse el área de trabajo ordenada y limpia para que no perjudique al personal en las actividades del mantenimiento u operación dentro de la planta.

## **2.9. Relación entre los departamentos de mantenimiento y producción de la empresa**

- Departamento de mantenimiento
  - Evitar que el número de paros sea mayor a las previsiones que se establecieron.
  - El costo de mantenimiento no debe salirse del presupuesto.
  - El equipo debe estar normalizado lo mejor posible en herramientas y repuestos.
  - El personal debe estar bien preparado para cualquier momento crítico.
  
- Departamento de producción
  - Evitar que el número de paros sea mayor a las previsiones que se establecieron.
  - Los paros de producción deben ser lo más breves posibles.
  - Los intervalos de construcciones deben ser lo más largos posibles.

Cuando se requiere del servicio de mantenimiento de averías, que se presenten inmediatamente sin dejar a un lado otras labores urgentes.

## **2.10. Nociones generales sobre mantenimiento preventivo por intercambio programado de componentes**

Establecer los requerimientos para el mantenimiento preventivo, decide qué tan extenso puede ser su programa de mantenimiento preventivo, qué debe de incluir y dónde debe de iniciar, qué maquinaria o qué equipo hay que incluir.

La mejor forma de iniciar esta actividad es determinar cuál es la maquinaria y equipo más crítico en la planta. Algunas veces esto es muy fácil y otras veces no, esto depende de lo que manufacture la compañía.

Hacer del programa de mantenimiento preventivo un "sistema activo". Puede ser mejor, seleccionar un departamento o sección de la planta para facilitar el inicio. Esta aproximación permite que concentre sus esfuerzos y realice más fácilmente mediciones del progreso. Es mucho mejor el expandir el programa una vez que se probó que se obtienen resultados. Decidir si se van a incluir disciplinas adicionales al programa de mantenimiento preventivo. Debe determinarse si se implementarán rutinas de lubricación, realizar inspecciones y hacer ajustes o calibraciones, o cambiar partes con base en frecuencia o uso.

## **2.11. Casos prácticos de mantenimiento aplicado a varios equipos industriales**

A continuación se presentan algunos casos de mantenimiento para varios equipos industriales.

### **2.11.1. Descripción de partes**

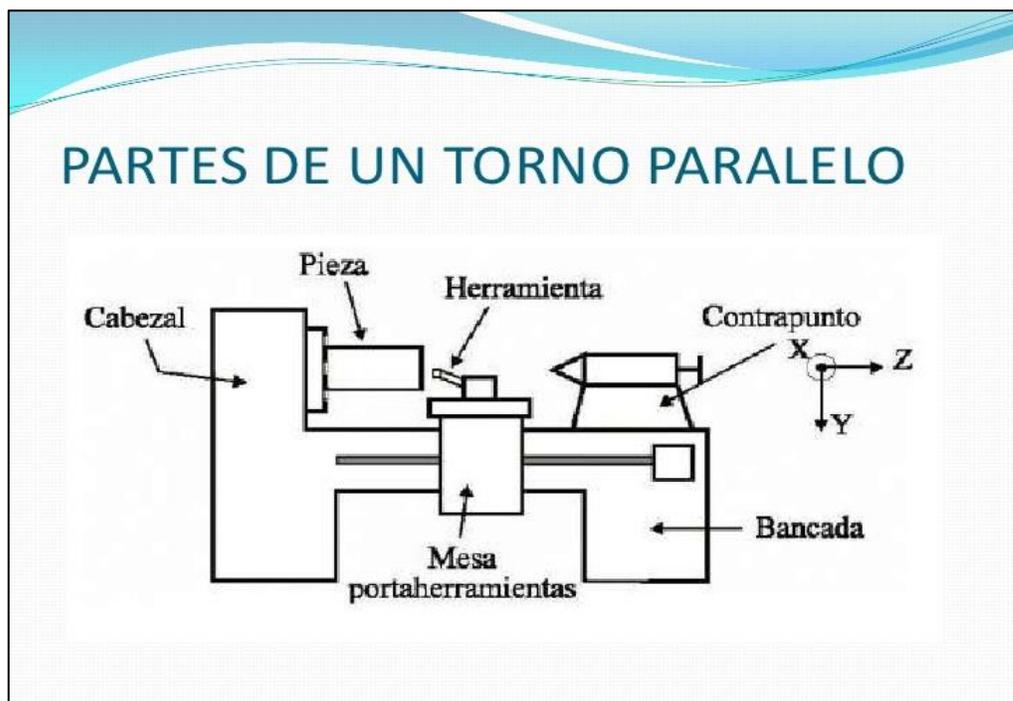
Describir es explicar de forma detallada y ordenada cómo son las partes, los detalles de los objetos, en este caso, de las máquinas o maquinaria.

La descripción sirve sobre todo para ambientar la acción y crear una atmósfera que haga más fácil el conocimiento de la maquinaria. Muchas veces, las descripciones contribuyen a detener la acción y preparar el escenario de los hechos que siguen, hay que observar con mucha atención y seleccionar los

detalles más importantes. Después de seleccionar los detalles, hay que organizar los datos siguiendo un orden.

Para describir un objeto o una maquinaria se detallan sus rasgos característicos: forma, tamaño, impresión que produce; si la maquinaria tiene diferentes partes, se enumeran y detallan ordenadamente (ver figura 1).

Figura 1. **Partes de un torno paralelo**



Fuente: *Herramientas del torno*. [http://es.slideshare.net/pantejose/herramientas-del-torno?next\\_slideshow=1](http://es.slideshare.net/pantejose/herramientas-del-torno?next_slideshow=1). Consulta: mayo de 2015.

### 2.11.2. Pruebas

La prueba del equipo es normalmente más detallada y rigurosa que la verificación. Se requiere para asegurar que cada componente de un sistema

esté operando como debe y que el sistema esté funcionando de acuerdo con los requerimientos locales específicos.

Un programa de prueba integral y bien estructurado es aquel que asegura que todos los componentes del sistema sean probados. Esto es especialmente importante para sistemas clave, como los de votación electrónica. Entre las medidas de prueba que se pueden considerar, figuran las siguientes:

- Desarrollar un conjunto de criterios para la prueba.
- Aplicar pruebas "no operativas" para asegurar que el equipo puede tolerar los niveles de manejo físico esperado.
- Verificar la existencia de un código integrado en el equipo de cómputo (este código algunas veces es mejor conocido como *firmware*) para asegurar la conexión lógica y que se están siguiendo los estándares apropiados).
- Aplicar pruebas funcionales y evaluaciones de calidad para determinar si se han satisfecho los criterios de prueba.
- Conducir pruebas en condiciones de laboratorio y en una variedad de condiciones reales.
- Conducir pruebas durante un periodo prolongado, para cerciorarse que los sistemas pueden funcionar de manera consistente.
- Conducir pruebas de carga, simulando, tanto como sea posible, una variedad de condiciones reales utilizando o excediendo los volúmenes de información que se pueden esperar en una situación concreta.
- Verificar que lo que entra es lo que sale, introduciendo información conocida y verificando que el resultado sea consecuente con ella.

### **2.11.3. Mantenimiento de accesorios**

Hay gran variedad de accesorios, por ejemplo, codos, bridas, tees, reductores, filtros, trampas, entre otros. El mantenimiento dependerá del uso del accesorio, el cual tendrá que tomar en consideración una inspección visual periódica. Si al equipo se le da el mantenimiento predictivo, se le pueden hacer las pruebas de ultrasonido o termografía para ver el estado del accesorio para prever rupturas o daños en los mismos.

### **2.11.4. Herramienta y equipo**

Una herramienta es un instrumento que permite realizar ciertos trabajos. Estos objetos fueron diseñados para facilitar la realización de una tarea mecánica que requiere del uso de una cierta fuerza. El destornillador, la pinza y el martillo son herramientas.

Ya en la Prehistoria los seres humanos se vieron en la necesidad de construir sus propias herramientas para realizar tareas tales como hacer fuego, cazar, recolectar. Todas ellas han ido evolucionando para adaptarse a los tiempos y, además, han ido surgiendo otras acordes a las necesidades de cada momento.

Actualmente existen herramientas y equipos muy específicos para distintos ámbitos. Muchos creen que los seres humanos son los únicos capaces de crear y utilizar herramientas, sin embargo, hay otros animales que también apelan a las herramientas. Algunos primates usan piedras para abrir cocos o palos para sacar insectos de los huecos de los árboles.

No obstante, no hay que pasar por alto tampoco que en el ámbito más coloquial se utiliza el término herramienta con una gran variedad de significados. Así, se suele emplear como sinónimo de arma blanca, de los cuernos de algunos animales o incluso de los dientes.

Más que los usos que tiene esta palabra, en el ámbito general son los que posee dentro del ámbito económico, empresarial y financiero los que interesan. En estos casos, se emplea con el claro propósito de hacer mención a los instrumentos, tangibles o intangibles, que se poseen para llevar a cabo un proyecto y para conseguir unos resultados concretos. Eso supone, por ejemplo, que cuando se hable de emprendedores se establezca que estos tienen una serie de herramientas para poner en marcha sus negocios, cambios e iniciativas. Entre ellas estarían el plan de empresa, la autoevaluación, el modelo de negocio, sus ideas, el análisis del mercado en el que se integra o sus actitudes emprendedoras.

Más allá del objeto físico, el concepto de herramienta también se utiliza para nombrar a cualquier procedimiento que mejora la capacidad de realizar ciertas tareas.

#### **2.11.5. Averías, causas y remedios típicos**

En el diagnóstico de problemas se obtienen las causas del mismo y posibles soluciones. A continuación se presenta un ejemplo con problemas más frecuentes, causas probables y sus soluciones, para cojinetes o rodamiento y cadenas de transmisión de potencia.

- Cojinetes o rodamiento
  - Problema: marcas oscilatorias en la cuna.
  - Causa probable: desalineamiento general. Eje principal fuera de paralelismo. Rodamiento atorado, las bolas oscilan desde un costado de la pista, al centro y luego al costado opuesto.
  - Solución: verificar alineamiento del eje y chumacera. Revisar el eje para centrado axial. Revisar el eje para centrado axial, alinearlos tan perfecto como sea posible.
  
  - Problema: presencia prematura de astilladuras puntos de fatiga.
  - Causa probable: chumacera fuera de centricidad, esto fuerza al anillo exterior a tomar las inexactitudes de la chumacera. Esfuerzos son provocados por un apretado excesivo del cojinete, ocasionando una falla temprana por fatiga.
  - Solución: verificar que las dimensiones de la chumacera sean las correctas. Revisar las cuñas de graduación en la base de la chumacera. Verificar que las superficies estén bien terminadas y maquinadas. Verificar la centricidad.
  
  - Problema: pequeños agujeros en las pistas.
  - Causa probable: esto es debido a chispas electrostáticas. El arco de la chispa atraviesa la pequeña capa de lubricante. El resultado es de recocido y hay sobreendurecimiento de esa zona. Después de un servicio prolongado se desarrollan ondulaciones.
  - Solución: revisar el potencial de voltaje, esto depende de la naturaleza y operación de la máquina. Un cambio de lubricante puede ayudar.

- Problema: corrosión o herrumbre.
- Causa probable: una buena indicación de presencia de agua o humedad. Los sellos pueden estar defectuosos. Puede ser ocasionado por la transpiración en las manos del montador. Lubricante equivocado. La fricción por el deslizamiento entre las pistas y la chumacera pueden desprender pequeñas partículas, esto se oxida y forma depósitos rojos o negros en las cunas o sus componentes.
- Solución: revisar el lubricante utilizado y seleccionar uno con mejores propiedades para condiciones húmedas. Revisar los sellos, asegurarse de que manos sudorosas no entren en contacto con el cojinete. Usar el lubricante correcto. Revisar por ligeros deslizamientos entra la cuna y chumacera.
  
- Problema: canasta rota.
- Causa probable: un montaje incorrecto puede haber doblado o deformado la canasta. Puede haber sido bloqueado con una herramienta en el montaje. El movimiento puede ser obstruido por partículas extrañas que entran y se acuñan entre las bolas y la canasta. Un lubricante de baja calidad obstruyendo el libre movimiento de las bolas.
- Solución: montar y desmontar los rodamientos cuidadosamente de forma correcta. Inspeccionar los sellos para asegurarse que eviten la entrada de materiales extraños. Asegurarse que se le está aplicando el lubricante correcto, en forma correcta.

- Cadenas de transmisión de potencia
  - Problema: desgaste excesivo.
  - Causa probable: desalineamiento del conductor. Ejes no paralelos. El desgaste de la rueda dentada puede deberse a holgura axial excesiva. Lubricante no apropiado. Alguna sección de la cadena dañada.
  - Solución: alinear la rueda dentada con una lámina recta o tensar una cuerda a ambos lados de la cara de la rueda dentada. Cambiar las ruedas dentadas dañadas. Ajustar los ejes hasta hacerlos paralelos, alinearlos cuidadosamente con un nivel de burbuja. Ajustar el juego axial con los castigadores o poniendo un collar. Asegurar si el lubricante seleccionado es apropiado. Evitar la sobrelubricación. Cambiar la sección dañada de inmediato, utilizar las herramientas correctas, no un martillo y mandril de ensanchar.
  
  - Problema: ruedas dentadas montadas.
  - Causa probable: dientes de la rueda dentada muy dañados, rueda dentada incorrecta para el tamaño de la cadena. Cadena muy dañada. Cadena muy floja.
  - Solución: cambiar la rueda dentada. Cambiar la sección dañada. Utilizar un tensor para ajustar la distancia entre centros de las ruedas dentadas.
  
  - Problema: operación ruidosa.
  - Causa probable: mala alineación de ejes y ruedas dentadas. Cadenas y ruedas dentadas muy dañadas. Dimensiones incorrectas de cadena y ruedas dentadas. Lubricante inadecuado

- o falta de lubricante. Cadena muy floja. Carcasa con cascabeleos. Desgaste de rodamientos.
- o Solución: corregir la alineación como se mencionó anteriormente. Cambiar ruedas dentadas o secciones de cadena. Instalar cadenas y ruedas de tamaño y peso adecuado. Asegurar que el lubricante adecuado se aplique correctamente. Ajustar los tensores o la distancia entre centros. Mantener una tensión leve y poca holgura. En tramos muy largos ajuste soportes, ruedas locas o rodillos. Apretar seguros. Verificar que no hayan materiales sueltos que friccionen contra la carcasa. Revisar que están siendo lubricados correctamente, cambiar rodamientos dañados.
  
- o Problema: dientes rotos en la rueda dentada.
- o Causa probable: cadena muy corta. Destrucciones entre la cadena y la rueda dentada. Cadena o rueda dentada dañada excesivamente.
- o Solución: ajustar la tensión de la cadena y asegurarse de tener una holgura adecuada. Revisar la carcasa y quitar todo lo que pueda introducirse entre la cadena y la rueda dentada. Verificar que no es posible el ingreso de contaminantes o materiales extraños que puedan caer sobre la cadena. Cambiar cadenas o ruedas dentadas.
  
- o Problema: cadena atorada o pegada a las ruedas dentadas.
- o Causa probable: mal alineamiento de ejes y ruedas dentadas. Cadena o rueda dentada muy dañada. Lubricación inadecuada. Eslabones con óxido o corrosión.
- o Solución: corregir el alineamiento como se mencionó anteriormente. Voltar las ruedas dentadas, si están muy

dañadas, cambiarlas. Cambiar las secciones de cadenas dañadas. Asegurarse que se está aplicando el lubricante correcto. Limpiar a fondo la cadena y la rueda dentada con un solvente y un cepillo. Aplicar el lubricante adecuado.

## **2.12. Desgaste**

Es el daño de la superficie por remoción de material de una o ambas superficies sólidas en movimiento relativo. Es un proceso en el cual las capas superficiales de un sólido se rompen o se desprenden de la superficie. Al igual que la fricción, el desgaste no es solamente una propiedad del material, es una respuesta integral del sistema. Los análisis de los sistemas han demostrado que 75 % de las fallas mecánicas se deben al desgaste de las superficies en rozamiento, se deduce fácilmente que para aumentar la vida útil de un equipo se debe disminuir el desgaste al mínimo posible.

Entre los diferentes tipos de desgaste están:

- Por fatiga: surge por concentración de tensiones mayores a las que puede soportar el material, incluye las dislocaciones, formación de cavidades y grietas.
- Abrasivo: es el daño por la acción de partículas sólidas presentes en la zona del rozamiento.
- Por erosión: es producido por una corriente de partículas abrasivas, muy común en turbinas de gas, tubos de escape y de motores.

- Por corrosión: originado por la influencia del medio ambiente, principalmente la humedad, seguido de la eliminación por abrasión, fatiga o erosión de la capa del compuesto formado.
- Por oxidación: ocasionado principalmente por la acción del oxígeno atmosférico o disuelto en el lubricante, sobre las superficies en movimiento.
- Por frotación: aquí se conjugan las cinco formas de desgaste, en este caso los cuerpos en movimiento tienen movimientos de oscilación de una amplitud de menos de cien micrómetros, generalmente se da en sistemas ensamblados.
- Adhesivo: es el proceso por el cual se transfiere material de una a otra superficie durante su movimiento relativo, como resultado de soldado en frío en puntos de interacción de asperezas. En algunos casos, parte del material desprendido regresa a su superficie original o se libera en forma de virutas o rebaba.
- *Fretting*: es el desgaste producido por las vibraciones inducidas por un fluido a su paso por una conducción.
- Impacto: son las deformaciones producidas por golpes y que producen una erosión en el material.
- *Polishing*: es la pérdida leve de metal por el contacto de superficies, no es considerado perjudicial y también es denominado desgaste normal. Normalmente ocurre al inicio de operación del mecanismo, puliendo las asperezas remanentes después del maquinado.

- *Brinelling*: deformación permanente de las superficies sustentadoras de carga, donde los elementos de rodamiento entran en contacto con la pista de rodadura. Es el resultado de una carga excesiva o de un impacto en cojinetes inmóviles. Es una forma de daño mecánico en el cual el metal se desplaza sin desgaste. Crea abolladuras mensurables en cada localización de la bola similar a la deformación causada por un probador Brinell de dureza. Las condiciones que lo provocan: impacto aplicado durante el montaje, carga de impacto o golpe, alta sobrecarga estática y contaminación.

### **2.13. Corrosión**

La corrosión es el principal enemigo de toda estructura, puesto que, de no protegerse el sustrato en forma adecuada, inevitablemente se producirá un desgaste prematuro del material que puede llevar al colapso de la misma.

Este fenómeno se puede presentar en distintas formas según sea su mecanismo de acción, los principales tipos de corrosión son:

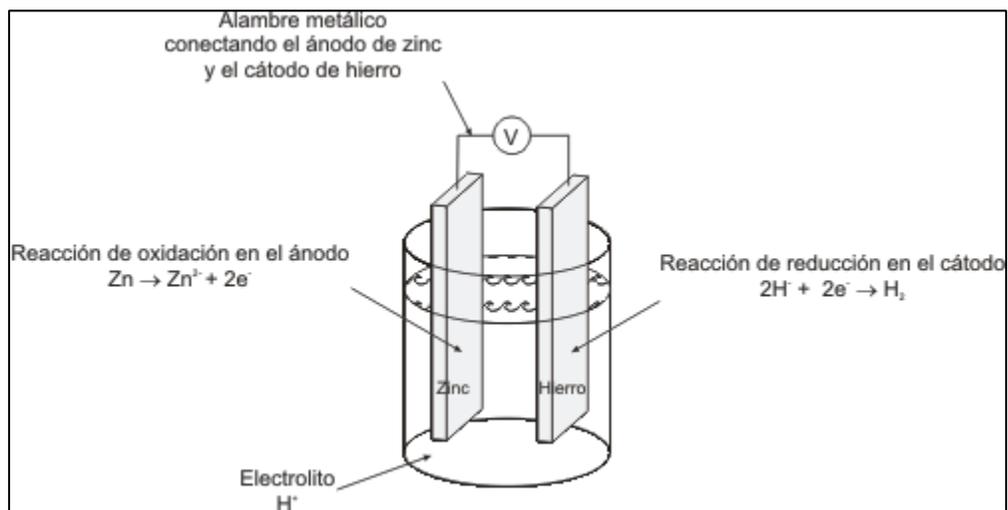
- **Atmosférica:**

De todas las formas de corrosión, la atmosférica es la que produce mayor cantidad de daños en el material y en mayor proporción. Grandes cantidades de metal de automóviles, puentes o edificios están expuestas a la atmósfera y por lo mismo se ven atacados por oxígeno y agua. La severidad de esta clase de corrosión se incrementa cuando la sal, los compuestos de sulfuro y otros contaminantes atmosféricos están presentes. Para hablar de esta clase de corrosión es mejor dividirla según ambientes.

- Galvánica

Es una de las más comunes que se pueden encontrar. Es una forma de corrosión acelerada que puede ocurrir cuando metales distintos (con distinto par redox) se unen eléctricamente en presencia de un electrolito (por ejemplo, una solución conductiva).

Figura 2. **Ataque galvánico**



Fuente: *Corrosión*. <http://www.textoscientificos.com/quimica/corrosion/tipos>. Consulta: mayo de 2015.

El ataque galvánico puede ser uniforme o localizado en la unión entre aleaciones, dependiendo de las condiciones. La corrosión galvánica puede ser particularmente severa cuando las películas protectoras de corrosión no se forman o son eliminadas por erosión.

Esta forma de corrosión es la que producen las celdas galvánicas. Sucede que cuando la reacción de oxidación del ánodo se va produciendo, se van

desprendiendo electrones de la superficie del metal que actúa como el polo negativo de la pila (el ánodo) y así se va produciendo el desprendimiento paulatino de material desde la superficie del metal. Este caso ilustra la corrosión en una de sus formas más simples.

Quizá la problemática mayor sobre corrosión esté en que, al ser este caso bastante común, se presente en variadas formas y muy seguido. Por ejemplo, la corrosión de tuberías subterráneas se puede producir por la formación de una pila galvánica en la cual una torre de alta tensión interactúa con grafito solidificado y soterrado, con un terreno que actúe de alguna forma como solución conductiva.

- Metales líquidos

La corrosión con metales líquidos corresponde a una degradación de los metales en presencia de ciertos metales líquidos como el zinc, mercurio, cadmio, entre otros. Ejemplos del ataque por metal líquido incluyen a las disoluciones químicas, aleaciones metal-a-metal (por ejemplo, el amalgamamiento) y otras formas.

- Altas temperaturas

Algunos metales expuestos a gases oxidantes en condiciones de muy altas temperaturas pueden reaccionar directamente con ellos sin la necesaria presencia de un electrolito. Este tipo de corrosión es conocida como empañamiento, escamamiento o corrosión por altas temperaturas.

Generalmente, esta clase de corrosión depende directamente de la temperatura, Actúa de la siguiente manera: al estar expuesto el metal al gas

oxidante, se forma una pequeña capa sobre el metal, producto de la combinación entre el metal y el gas en esas condiciones de temperatura. Esta capa o “empañamiento” actúa como un electrolito sólido, que permite que se produzca la corrosión de la pieza metálica mediante el movimiento iónico en la superficie.

Algunas maneras de evitar esta clase de corrosión son las siguientes:

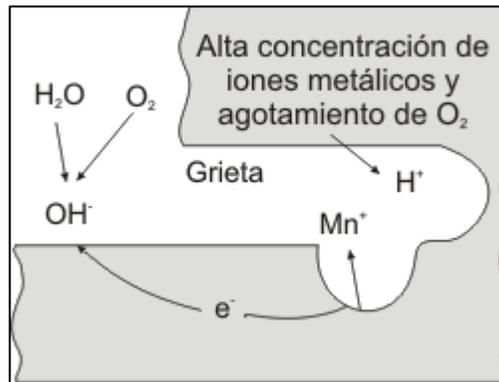
- Alta estabilidad termodinámica, para generar en lo posible otros productos para reacciones distintas.
- Baja presión de vapor, de forma tal que los productos generados sean sólidos y no gases que se mezclen con el ambiente.

La corrosión por altas temperaturas puede incluir otros tipos de corrosión, como la oxidación, la sulfatación, la carburización, los efectos del hidrógeno, entre otros.

- Corrosión por fisuras o crevice

La corrosión por *crevice* o por fisuras es la que se produce en pequeñas cavidades o huecos formados por el contacto entre una pieza de metal igual o diferente a la primera, o más comúnmente con un elemento no metálico. En las fisuras de ambos metales, que también pueden ser espacios en la forma del objeto, se deposita la solución que facilita la corrosión de la pieza. Se dice, en estos casos, que es una corrosión con ánodo estancado, ya que esa solución, a menos que sea removida, nunca podrá salir de la fisura. Además, esta cavidad se puede generar de forma natural, producto de la interacción iónica entre las partes que constituyen la pieza.

Figura 3. **Corrosión por fisuras**



Fuente: *Corrosión*. <http://www.textoscientificos.com/quimica/corrosion/tipos>. Consulta: mayo de 2015.

Algunas formas de prevenir esta clase de corrosión son las siguientes:

- Rediseño del equipo o pieza afectada para eliminar fisuras.
  - Cerrar las fisuras con materiales no-absorbentes o incorporar una barrera para prevenir la humedad.
  - Prevenir o remover la formación de sólidos en la superficie del metal.
- Corrosión por fricción o *fretting*

Es la que se produce por el movimiento relativamente pequeño (como una vibración) de 2 sustancias en contacto, de las que una o ambas son metales. Este movimiento genera una serie de picaduras en la superficie del metal, las que son ocultas por los productos de la corrosión y solo son visibles cuando esta es removida.

- Corrosión por cavitación

Es la producida por la formación y colapso de burbujas en la superficie del metal (en contacto con un líquido). Es un fenómeno semejante al que le ocurre a las caras posteriores de las hélices de los barcos. Genera una serie de picaduras en forma de panal.

- Corrosión selectiva

Es semejante a la llamada corrosión por descincado, en donde piezas de cinc se corroen y dejan una capa similar a la aleación primitiva. En este caso, es selectiva porque actúa solo sobre metales nobles como plata-cobre o cobre-oro. Quizá la parte más nociva de esta clase de ataques está en que la corrosión del metal involucrado genera una capa que recubre las picaduras y hace parecer al metal corroído como si no lo estuviera, por lo que es muy fácil que se produzcan daños en el metal al someterlo a una fuerza mecánica.

- Corrosión microbiológica (MIC)

Es aquella corrosión en la cual organismos biológicos son la causa única de la falla o actúan como aceleradores del proceso corrosivo localizado. La MIC se produce generalmente en medios acuosos en donde los metales están sumergidos o flotantes. Por lo mismo, es una clase común de corrosión.

Los organismos biológicos presentes en el agua actúan en la superficie del metal, acelerando el transporte del oxígeno a la superficie del metal, acelerando o produciendo, en su defecto, el proceso de la corrosión.

## **2.14. Seguridad e higiene industrial**

La higiene industrial es la ciencia y el arte dedicados a la prevención, reconocimiento, evaluación y control de los factores ambientales que surgen en el lugar de trabajo y que pueden causar enfermedades, deterioros de la salud, incapacidad e ineficiencia marcada entre los trabajadores y los miembros de la comunidad. Es la aplicación racional y con inventiva de las técnicas que tienen por objeto el reconocimiento, la evaluación y el control de aquellos factores ambientales que se originen en el lugar de trabajo, estado patológico que sobreviene por una causa repetida durante largo tiempo, como obligada consecuencia de las clases de trabajo que desempeña la persona.

Los procesos y las operaciones industriales que producen o utilizan compuestos que afectan la salud de los trabajadores son materia de trabajo para el higienista industrial, en las empresas se ofrece protección contra la exposición de sustancias tóxicas en medidas establecidas por la ley de seguridad y salud ocupacional.

La seguridad e higiene industrial es una ciencia multidisciplinaria que se relaciona con otras, el desarrollo tecnológico ha sido tanto que se requiere la aplicación de diferentes conocimientos como herramientas de trabajo, entre otras, están la ergonomía, ecología, administración, derecho, biología, física, matemáticas, psicología, estadística, sociología.

- Agentes contaminantes: los factores o agentes son múltiples, pero en general se dividen en cinco grupos:
  - Agente físico: son todos aquellos en los que el ambiente normal cambia, rompiéndose el equilibrio entre el organismo y su medio.

- Agente químico: es toda sustancia orgánica e inorgánica natural o sintética que durante la fabricación, manejo, transporte, almacenamiento o usos puede incorporarse al aire, en forma del polvo, humo, gas o vapor, con efectos irritantes.
- Agentes biológicos: son microorganismo u otros seres vivos que pueden producir enfermedades infecciosas a los trabajadores, como resultado del conflicto con estos en el centro de trabajo.
- Agentes ergonómicos: son todos aquellos factores que tienden a modificar el estado de reposo o de movimiento de una parte o la totalidad del cuerpo vivo.
- Agentes psicológicos: medio de tensión en el cual se desempeña el trabajo, que puede causar alteraciones de la estructura psíquica (psicológica) y de personalidad de trabajadores (familia, escuela, labor, medio social).

Las vías de entrada del agente contaminante al organismo son las siguientes:

- Auditiva (ruido)
- Visual (iluminación, radiación)
- Respiratoria (agentes químico, biológico)
- Piel (todos)

Las vías más comunes por donde entran al cuerpo los agentes químicos y biológicos son:

- Vía respiratoria, a esta corresponden a la mayor parte de las enfermedades por agentes químicos y biológicos.
  - Vía digestiva, las enfermedades que se producen por esta vía se deben básicamente a la falta de conocimiento de los hábitos de higiene.
  - Vías cutáneas (piel), la enfermedad se produce al entrar la piel en contacto con agentes biológicos o químicos.
- 
- Medidas de detección de los agentes contaminantes: se deben reconocer los agentes contaminantes (humos, gases, entre otros) que resulten del proceso de trabajo de las condiciones del ambiente en el que se desenvuelvan los trabajadores, la iluminación inadecuada, la ventilación inadecuada, el ruido excesivo, las temperaturas extremas, el desaseo y el desorden.
  
  - Enfermedades profesionales: estado patológico que sobreviene por una causa repetida durante largo tiempo obligada consecuencia de las clases de trabajo que desempeñan las personas.
  
  - Medidas de prevención de enfermedades profesionales: para la prevención de enfermedades y de accidentes, una labor de medicina industrial se puede o no justificar, de acuerdo con los números de trabajadores y de las posibilidades económicas. Los asesoramientos de un médico con conocimientos especializados en la materia son:
    - Exámenes de ingreso
    - Exámenes periódicos al personal
    - Registros sobre el estado de salud de cada trabajador

- Estudio de causas y medios para eliminar la fatiga, las enfermedades, profesionales, la monotonía, entre otros.
- Educación de los trabajadores para primeros auxilios
- Revisión periódica de las condiciones: sanitarias, ventilación, iluminación, de contactos directos, generales, especiales, de los periodos de descanso.
- Índice de frecuencia y de severidad de los accidentes.

### **2.15. Gestión ambiental en el mantenimiento**

El mantenimiento es el proceso mediante el cual se asegura la fiabilidad de los equipos y donde se ejecutan el mayor número de actividades que pueden ocasionar daños al medio ambiente. La protección medioambiental debe gestionarse integrada a los procesos donde se originan los impactos.

El efecto ecológico del mantenimiento se garantiza mediante la gestión eficaz y eficiente de este y su mejoramiento continuo dentro de un sistema de gestión ambiental (SGA), lo cual significa que todos los aspectos ambientales están bajo control operacional y se han tomado todas las acciones para prevenir y corregir impactos. Un producto es ecológico si el riesgo de su daño ambiental es mínimo o nulo. Relacionado a ello, se define el mantenimiento ecológico como el mantenimiento cuya gestión está integrada a un sistema de gestión ambiental, mediante el establecimiento de un conjunto de acciones técnicoorganizativas, que aseguran la reducción del riesgo de impacto ambiental de los equipos y de las acciones de mantenimiento. Las acciones para prevenir daños al medio ambiente deben ser dirigidas a las personas, los equipos y los procesos de mantenimiento.

Los factores causales más importantes identificados que pueden propiciar la ocurrencia del impacto al medio ambiente desde el mantenimiento son: los errores humanos, la ausencia de mantenimiento, la aplicación de políticas de mantenimiento incorrectas y procesos de mantenimiento no controlados. El establecimiento de las interrelaciones con otras funciones de la organización (calidad y seguridad) asegura el mejoramiento de la eficacia de las acciones implementadas. El compromiso de la gerencia con este propósito es decisivo para alcanzar los resultados esperados, expresado mediante el establecimiento de políticas y acciones concretas que aseguren cambios en el modo de actuación de las personas hacia el medio ambiente y den al mantenimiento un alcance nuevo.

## **2.16. Ética en el mantenimiento**

Según el *Diccionario de Real Academia Española*, la ética es la parte de la filosofía que trata del bien y del mal en la conducta humana, conjunto de normas que regulan el comportamiento humano desde el punto de vista del bien. En este contexto, la ética también es definida como el conjunto de los mejores criterios y conceptos que deben guiar la conducta de un sujeto en razón de los más elevados fines que pueden atribuirse a la tarea que desarrolla. El comportamiento ético no debe solo surgir de la obligación de cumplir con normas determinadas por la autoridad de gestión, sino constituirse en una norma libre y conscientemente aceptada como una necesidad impostergable para velar por el prestigio del mantenimiento como especialidad técnica.

Dado que también se habla de “deber ético” como “deber moral”, no se puede dejar de hacer referencia a la moral que es definida como la parte de la filosofía que estudia ciertos aspectos de la conducta humana, los que se conocen tanto por la observación individual como de los grupos sociales.

Observándose a sí mismo se puede tener idea del bien y del mal. El concepto de bien no necesariamente es sinónimo de útil, por ejemplo aspirar al reconocimiento social practicando consejos de prudencia, habilidad o determinadas técnicas es útil, pero desde el punto de vista moral, no hace diferencia porque se puede no tener esa aspiración ni desear aplicar los medios indicados. En cambio, el concepto de bien es sinónimo de obligatorio sin condición, es decir, sin considerar las ventajas o las desventajas que puedan ocurrir en consecuencia; bien y deber (obligación) resultan así, inseparables.

En sociedades relativamente estables, impregnadas de fuertes tradiciones, el individuo está tan modelado por los hábitos y las tradiciones dominantes, que el deber se le presenta con tanta claridad que no necesita reflexionar sobre él. Cuando se toma conciencia de los conocimientos, es decir cuando se sabe que se sabe, aparece el concepto de obligación. No se puede negar el conocimiento. Desde este punto de vista, el “solo sé que no sé nada” aparte de reflejar una realidad filosófica, está desechando toda obligación de actuar. “El que nada sabe, nada puede y por ello, a nada está obligado” es la deducción lógica.

Dado que las actividades del mantenimiento no son un hecho aislado porque se desarrollan en un ámbito social determinado, se ve la importancia que adquiere la convivencia. Aceptar que la realidad que uno ve no es necesariamente la realidad que ven los otros, es comenzar a separarse de aquello que se creía inamovible; que si desea convivir se debe hacer con una mirada amplia que permita la inclusión del otro y no procede plantarse en afirmar un punto de vista, que por ser solo de una persona, es unilateral. La convivencia constituye la base de todo grupo social y precisamente esto es lo que da lugar al comportamiento ético. El concepto de madurez encierra un buen ejemplo de comportamiento ético cuando, al definir a un hombre maduro, dice:

un hombre maduro es aquel que comprende que todas sus acciones provocan efectos en los demás y que está dispuesto a hacerse responsable por las consecuencias de dichos efectos.

## **2.17. *Benchmarking, outsourcing y empowerment***

- *Benchmarking*

Gracias a la búsqueda continua de mejoras, tanto en los procesos industriales como en los comerciales, se llega a encontrar formas de aplicación que se traducen en resultados positivos para las empresas. Tal es el caso del *benchmarking* (comparación referencial), que nació a partir de la necesidad de saber cómo se están desempeñando otras empresas para tener información que sirva para mejorar los procesos y entrar en un amplio nivel de competitividad.

Existen dos proverbios que justifican la existencia del *benchmarking*. Uno de ellos es de origen chino y data de hace más de 2 500 años: "Si usted conoce a su enemigo y se conoce a sí mismo, no tiene por qué temer el resultado de 100 batallas", escrito por el general Sun Tzu. El otro, se originó en Japón y proviene de la palabra *dantotzu* que significa "luchar por ser el mejor de los mejores".

El *benchmarking* es un proceso de investigación constante que busca nuevas ideas para llevar a cabo métodos, prácticas y procesos de adaptación de las características positivas, con el fin de obtener lo mejor de lo mejor. El *benchmarking* se puede llevar a cabo tanto en la parte industrial como en la comercial y administrativa, pues no se limita a un área en especial. Se basa firmemente en contemplar y comprender no solo el mundo interno de la

compañía, sino, más importante aún, evaluar constantemente el externo. Es una forma de comparar lo que se hace con las mejores prácticas (*best practices*) implementadas por otras empresas de éxito reconocido para evaluar el desempeño y determinar los cambios. La palabra *benchmarking* proviene del inglés *bench mark* que significa marca o punto de referencia; es decir, se toma un punto de comparación para medir lo hecho por la empresa y por los demás. Para iniciar un proceso de *benchmarking* se requiere de lo siguiente:

- Conocer la operación: evaluar los puntos débiles y fuertes dentro de la empresa. Recordar que la competencia también lo hará para descubrir sus puntos débiles; si no la conoce, no estará en condiciones de defenderse.
- Conocer a los dirigentes de la industria o a los competidores: solo se está preparando para diferenciar las posibilidades en el mercado, si se conoce la fuerza y la debilidad de la competencia. Más importante aún, solo la comparación y la comprensión de las mejores prácticas de la industria o de los dirigentes funcionales asegurará la superioridad.
- Incluir lo mejor: aprender de las fortalezas de los dirigentes y de la competencia en la industria, descubrir por qué lo son y cómo lo lograron. Encontrar esas mejores prácticas en cualquier lugar y no dudar en copiarlas, modificarlas o incorporarlas a la operación. Imitar los puntos fuertes.
- Obtener la superioridad: si se han llevado a cabo investigaciones cuidadosas de las mejores prácticas y se han incorporado a la operación, entonces se habrán aprovechado los puntos fuertes

existentes, se habrán llevado los puntos débiles a igualar el mercado y se habrá ido más allá, a incluir lo mejor de lo mejor. Eso es una posición de superioridad.

Es importante, definir también lo que no es el *benchmarking*, de manera que no confunda el concepto con otras prácticas y se evite cometer errores en su aplicación.

- Es una nueva forma de hacer negocios.
- No es un proceso de recetas de libros de cocina que solo requiere buscar los ingredientes para aplicarlos y obtener un resultado.
- No es una panacea o un programa. Tiene que ser un proceso continuo de administración que requiere una actualización constante.
- Es un proceso de descubrimiento y una experiencia de aprendizaje; se deben observar cuáles son las mejores prácticas y proyectarlas al desempeño del futuro.

Obliga a utilizar un punto de referencia que asegure la corrección de la fijación de objetivos. Es un nuevo enfoque administrativo. Según los expertos, un proceso de *benchmarking* consta de cinco fases:

- Planeación
- Identificar qué se va a someter a *benchmarking*
- Identificar compañías comparables
- Determinar el método para recopilación de datos
- Recopilación de datos
- Análisis
  - Determinar la brecha de desempeño actual

- Proyectar los niveles de desempeño futuros
- Integración
  - Comunicar los hallazgos del benchmarking y obtener aceptación
  - Establecer metas funcionales
- Acción
  - Implementar acciones específicas y supervisar el progreso
  - Recalibrar los *benchmarks*
- Madurez
  - Corregir e innovar cuando se logre una posición de liderazgo
  - Implementar prácticas completamente integradas a los procesos

El proceso de *benchmarking*, que se inició como una práctica exclusiva de las multinacionales, contagia cada vez más a empresas pequeñas que necesitan mantenerse actualizadas en las prácticas modernas de un negocio. Si se tiene como objetivo entrar a competir en las grandes ligas, se recomienda no perder de vista estrategias como esta que ayudarán a ser mejor.

- *Outsourcing*

Hace referencia a la fuente externa de suministro de servicios; es decir, la subcontratación de operaciones de una compañía a contratistas externos. Con frecuencia se recurre al *outsourcing* como mecanismo para reducir costos, lo cual en algunos casos alcanza hasta un 40 %. Dicha subcontratación ofrece servicios modernos y especializados, sin que la empresa tenga que descapitalizarse por invertir en infraestructura.

Más allá de parecer un gasto adicional, la subcontratación representa la oportunidad de dejar en manos de compañías expertas la administración y el manejo eficiente y efectivo de los procesos que no están ligados directamente con la naturaleza del negocio y que, por el contrario, permite reducir costos y reorientar los recursos internos e influir de manera significativa en su nivel de competitividad.

El *outsourcing* podría definirse como un servicio exterior a la compañía y que actúa como una extensión de los negocios de la misma, pero que es responsable de su propia administración. También se podría definir como la acción de recurrir a una agencia exterior para operar una función que anteriormente se realizaba dentro de una compañía.

*Outsourcing* es la práctica de transferir la planeación, administración y operación de ciertas funciones a una tercera parte independiente. El *outsourcing* debe verse como un proceso que va a hacer más competitivas a las empresas.

Este lleva a cabo una alianza estratégica entre la empresa y *el outsource* (la compañía que presta el servicio de *outsourcing*), para que uno o varios procesos salgan de la empresa, o para que otros que anteriormente eran centros de costos se conviertan en centros de ganancias. Esto le da valor agregado a la empresa: aportar tecnología de vanguardia, adquirir una metodología de trabajo, estándares de calidad internacionales, aumentar los beneficios operativos y poner a su disposición un grupo multidisciplinario de especialistas que van a ayudar al logro de las metas.

Otro de los beneficios que aporta este modelo es la producción de ventajas competitivas. En primer lugar, facilita el liderazgo, porque al quitarse el

lastre de aquellos procesos que no son medulares, la empresa desarrolla tendencia a ser líder en su negocio, tiende a ser más eficiente porque se olvida definitivamente de algunas tareas que le obligan a dedicar mucha atención y tiempo; la satisfacción de las expectativas del cliente es otra ventaja competitiva indudable.

Es importante mencionar otros de los beneficios proporcionados por esta herramienta, los cuales son:

- La proporción de mayor veracidad de respuestas
- Protección de inversiones perdidas
- Evitar quedar atrapados con el proveedor
- Reducción del riesgo del negocio

Todos estos puntos permiten que se lleve a cabo un proceso de reducción de costos, una actividad para mejorar el valor que se le puede estar agregando al negocio ya existente (quizás mediante mejores productos y servicios) y agregando valor mediante la innovación.

- *Empowerment*

Significa empoderar, dar a otros a uno mismo, poder. En su esencia, *empowerment* se traduce en tomar las cosas en serio, tomar a las personas y a sus ideas en serio, asumir las ideas, acciones y consecuencias.

Empoderamiento significa tener la capacidad de cambiar esquemas mentales en la medida en que estos cambios son necesarios. Esto, en otras palabras, significa flexibilidad, la capacidad de fluir con el cambio en lugar de

resistirse a él, manteniendo en todo momento los valores de la cultura organizacional.

Basado en el análisis de esquemas mentales y paradigmas tradicionales el *empowerment* desafía premisas inoperantes y crea herramientas para abordar los aspectos más importantes en la vida cotidiana y gerencial.

Como resultado de esta experiencia, el participante del taller *empowerment*, evidenciará mejoras significativas en cuanto a:

- Pensamiento positivo.
- Equipos en lugar de grupos.
- Efectividad personal y gerencial.
- Mayor flexibilidad organizacional.
- Manejo más humano de sus recursos gerenciales.
- Mayor aprovechamiento del potencial de su persona.
- Compromiso tanto consigo mismo, como con su trabajo.
- Tiempo de respuesta en el manejo de funciones y proyectos.
- Capacidad para asociar logros de trabajo con satisfacciones personales.
- Capacidad de comunicación tanto dentro, como fuera de su organización.
- Mayor efectividad de los programas de desarrollo de recursos humanos.
- Incrementos importantes en los niveles de responsabilidad y productividad.

## 2.18. Administración del mantenimiento

Primero que nada, es necesario realizar un plan de mantenimiento, el cual es un documento que puede servir a diferentes propósitos, de acuerdo a la función del mantenimiento. Este trabajo requiere de una gran cantidad de trabajo documental y, al momento de iniciar la actividad, es necesario estar enterado de todas las actividades realizadas.

Los datos típicos a revisar, contenidos en un plan de mantenimiento son los siguientes:

- Instalación: ¿Quién instalará y controlará los equipos?
- Ambiente: ¿Existe alguna temperatura o humedad específica o límite que controlar?
- Frecuencia del mantenimiento: ¿Qué tan seguido será requerido el mantenimiento?
- Entrenamiento: ¿Qué arreglos necesitan ser hechos para el entrenamiento de ingeniería del mantenimiento para los usuarios?
- Herramientas y equipos: ¿Qué elementos especiales son requeridos y de dónde pueden ser obtenidos?
- Documentación del mantenimiento: ¿Qué documentación es necesaria tener en cuenta?
- Partes y materiales: ¿Qué es necesario tener para mantener un abasto que garantice las acciones adecuadas?
- Configuración del control: ¿Será necesario realizar algún cambio de equipos, el abasto de partes o documentación? ¿De qué forma podrán documentar e identificar los cambios?

La administración de mantenimiento se debe realizar por medio de un programa con necesidades secuenciales, principalmente para realizar una buena obra en la administración del mantenimiento son necesarios 3 pasos:

- Organización
- Motivación
- Control

Cada uno de estos puntos contiene una gran cantidad de información y actividades necesarias para una buena planeación y administración del mantenimiento.

- Organización

La organización del mantenimiento de una fábrica se desenvuelve de forma gradual y a lo largo de cierto periodo. Esta organización se establece como resultado de dicho desenvolvimiento, sea siguiendo un plan o por el azar mismo. Se trata de una estructura de relaciones prácticas para ayudar a la consecución de los objetivos de la empresa.

Es necesario llevar un programa de actividades para la iniciación del sistema de mantenimiento, puesto que si una actividad se implementa de forma caótica, el funcionamiento será de forma caótica.

Será necesario llevar a cabo las tareas necesarias en un orden obtenido de forma analítica, en función de su importancia y dificultad de ejecución, además, las tareas consecutivas deberán ser bien planeadas, con base en la complementación e interdependencia que pueden llegar a tener entre ellas.

Lo más importante debe ser detectar y localizar la zona a la cual se le aplicará el programa de mantenimiento preventivo. Una vez delimitada el área, se debe analizar para llegar a determinar los elementos principales que la forman, para distinguir cada uno de los problemas presentados durante la producción y así realizar un diagnóstico correcto y determinar una oportuna solución.

- Motivación

En la actualidad, las empresas cuentan con maquinaria automatizada con sistemas complejos, cuya operación demanda cierto nivel de capacitación por parte de los operarios o supervisores, por lo que es necesario realizar capacitación en el personal encargado de la producción.

Debido a los rápidos avances en la tecnología, muchas veces no se tiene en cuenta la capacitación. Muchas veces, los conocimientos del operario son básicos, llegando a provocar gran cantidad de problemas en la producción, desde paros no deseados, hasta paros generales por fallas del sistema.

Todo esto repercute en un incremento de actividades y órdenes de trabajo en el mantenimiento, una forma de reducir estos problemas es cortando el problema desde la raíz, dando la capacitación necesaria a los operarios. Las capacitaciones otorgan una mayor seguridad a los operarios y les dan una gran motivación para realizar de mejor manera su trabajo, lo cual dará, a la larga, grandes beneficios económicos a la empresa.

Debe ser necesario para que este plan funcione, hacerle ver al operario que al implementar un sistema de mantenimiento no siempre se va a generar recortes de personal o reducciones de salario, sino que, por el contrario, será

benéfico para ellos, pues al crecer la empresa están asegurando un mejor salario con unas condiciones de trabajo más seguras y de mejor calidad.

- Control

Se refiere principalmente a la evaluación del nivel de mantenimiento. Un problema presentado generalmente en esta área es el costo de mantenimiento, se debe saber distinguir bien entre el costo real del mantenimiento y el óptimo. Uno de los propósitos de la administración del mantenimiento consiste en reducir al mínimo la cantidad de horas-hombre por unidad de producción.

En la actualidad, existe una tendencia hacia el empleo cada vez mayor de equipos complicados, lo que acentúa el problema del mantenimiento, en estos casos es necesario realizar un análisis para saber realmente cuánto mantenimiento es necesario. Por otra parte, si se destinan pocos, pero que trabajadores al mantenimiento o si se determina un número adecuado labora con eficacia, disminuirá el nivel de mantenimiento de la fábrica.

Por todo esto, deberá ser necesario realizar un control y un estudio para determinar el nivel de mantenimiento más alto posible, que es factible obtener sin incrementar el costo de mantenimiento. El nivel se obtiene por medio de un análisis de los informes de producción y tiempo. Habrá que determinar la pérdida monetaria causada por los diferentes aspectos de la industria, como costos de desperdicios, costo de mantenimiento, personal de mantenimiento y costo actual de mantenimiento correctivo.

## **2.19. Gestión económica del mantenimiento**

Cuando las empresas han utilizado técnicas de auditoría y control para hacer más evidentes y patentes los costos totales de la actividad empresarial y destacar en qué áreas se puede mejorar, ha aparecido la necesidad de revisar los costos de departamento a departamento y, para ello, es absolutamente imprescindible disponer de una contabilidad analítica de gestión y desagregada, que permita su estudio detallado equipo a equipo, técnica a técnica, entre otros.

- **Costos en mantenimiento**

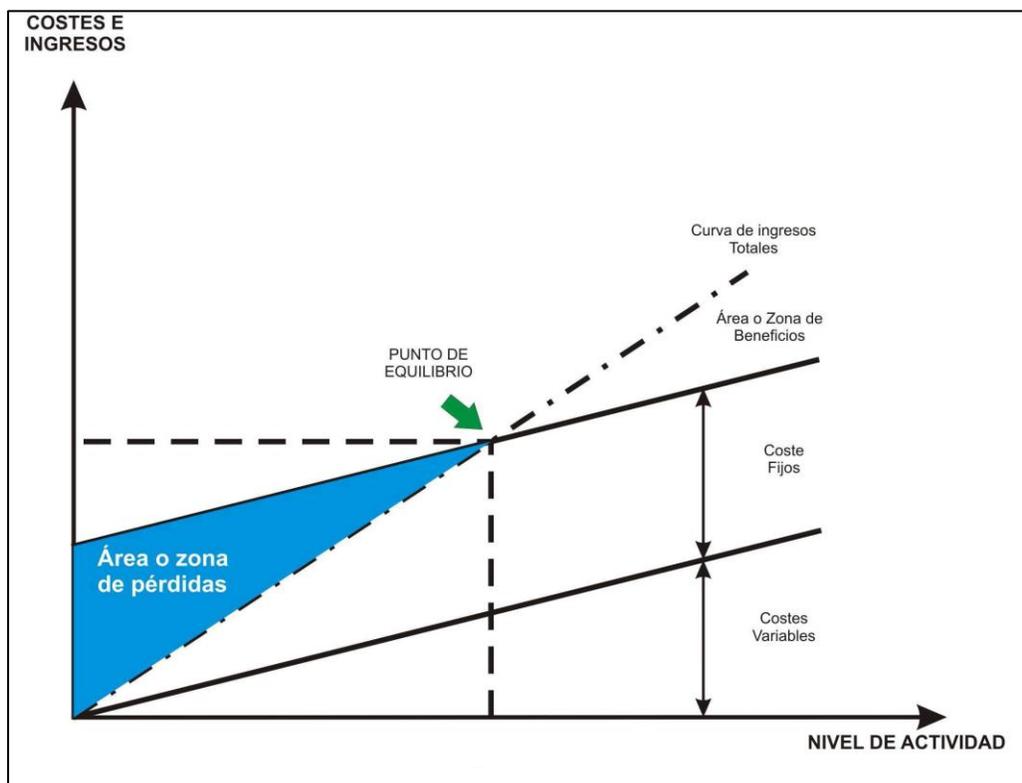
Al igual que ocurre en cualquier proceso productivo, el primer aspecto importante de desglose en la contabilidad de mantenimiento debe referirse a saber cuáles son los costos directos y cuáles los indirectos de la actividad. Esta premisa no es siempre fácil en un departamento de mantenimiento.

Usualmente, los insumos de materiales o gastos en fungibles, más los costos indirectos, serían los correspondientes a mandos intermedios, gastos de administración, gastos informáticos y otros de carácter general, como los de logística, limpieza, entre otros. Es, no obstante, importante detallar que cualquier costo directo, o sobre todo indirecto, depende de la base o unidad de costo con la que se relaciona y del criterio contable establecido.

También, al igual que la producción, en mantenimiento hay que hablar de costos variables y costos fijos. Costos variables son aquellos que tienden a variar en proporción directa con el nivel de actividad del departamento. Por ejemplo, los costos de consumos de aceites, aunque estos costos variables serán fijos por unidad de producto. Costos fijos serán aquellos que no varían

con relación al nivel de producción durante un determinado período, por ejemplo, el sueldo del jefe de mantenimiento (ver figura 4).

Figura 4. **Costos de ingresos**



Fuente: elaboración propia.

Es preciso también subrayar que si los costos de manteniendo se relacionan con los costos por unidad de producto producido, los mismos variarán de acuerdo con el nivel de producción. Los costos fijos del departamento de mantenimiento, se acumularán independientemente del nivel de actividad. Sin embargo, los costos variables no se acumularán si no existe actividad, dado que esta es únicamente la que los causa.

Como es sabido, el costo total en cualquier departamento es la suma del costo fijo y del costo variable. La importancia de la separación de los costos variables y de los costos fijos es lógica, ya que se podrá actuar sobre unos u otros de muy diferente manera. Por ejemplo, se podrá mejorar los costos de mantenimiento, haciendo que los operarios trabajen a un ritmo superior, necesitando una plantilla directa para el mismo trabajo, pero también se podrá reducir los costos del mantenimiento, reduciendo el nivel de mandos intermedios o de gastos indirectos.

- Distribución de los costos

Además de los conceptos contables anteriormente expuestos, es importante para un jefe de mantenimiento conocer el costo integral de su actividad. Dicho costo integral recoge de forma global la mejor o peor gestión del mantenimiento en una empresa y tiene, como tal, no solo el costo que históricamente se incorporaba como prorrateo al costo de producción, sino el costo fijo, más variable, anteriormente expuesto, y el costo de fallos. Para terminar de concretar dicho costo integral como costo fijo, más variable, más costos de fallos y paralizaciones, habría que añadir las pérdidas energéticas ocasionadas por averías imputables al mantenimiento y otros costos, como las posibles sanciones gubernativas y pérdidas de producción e imagen futuras.

La pregunta que siempre debe hacerse un responsable de mantenimiento, es si dispone de una herramienta contable, suficientemente desagregada para responderse a cuestiones tan simples, aparentemente, como la siguiente: si se aumentan las actuaciones preventivas, ¿en qué medida disminuirá el costo del mantenimiento correctivo y de las paradas de producción?

## **2.20. Mejora continua en la productividad del mantenimiento**

En estos últimos años se ha incrementado la importancia que tiene la mejora continua de los sistemas productivos, pues antes difícilmente se pensaba en el desafío que podría significar la competencia, la calidad y la globalización de productos y servicios. Una de las formas en que las industrias mantienen una mejora continua dentro de sus procesos, son las herramientas propuestas por Ishikawa, pues ayudan a conocer el estado actual del sistema y localiza las áreas de oportunidad.

Las siete herramientas de Ishiwaka son:

- Histograma
- Diagrama de Pareto
- Diagrama causa-efecto (o diagrama de Ishiwaka)
- Hojas de comprobación o de chequeo
- Gráficas de control
- Diagramas de dispersión
- Estratificación

Otra metodología usada para detectar algún problema y solucionarlo o seguir con mejoras en el sistema, es siguiendo ciertos pasos conocidos como el ciclo de Deming o mejoramiento de Shewhart; estos son:

- Planeación
- Ejecución
- Verificación
- Corrección

Estos pasos, junto con las siete herramientas de Ishiwaka, forman una buena opción para lograr la mejora continua en las industrias manufactureras.

Actualmente existen nuevas técnicas que buscan dichas mejoras, una de las más populares es seis sigma. Esta técnica es usada por la mayoría de las industrias y todos sus procesos son controlados por medio de herramientas estadísticas. Lo importante de estas herramientas y técnicas es lograr una mejora significativa y mensurable para ser comparada. En cuanto a la administración del mantenimiento, también tiene ciertas técnicas que le ayudan a ser más eficiente y a disminuir costos.

## **2.21. Normas para el mantenimiento de equipos**

Las Normas ISO 9000 son generadas por la International Organization for Standardization, cuya sigla es ISO. Esta organización internacional está formada por los organismos de normalización de casi todos los países del mundo.

Los organismos de normalización de cada país producen normas que se obtienen por consenso en reuniones donde asisten representantes de la industria y de organismos estatales. De la misma manera, las normas ISO se obtienen por consenso entre los representantes de los organismos de normalización enviados por cada país.

Las Normas ISO 9000 no definen como debe ser el sistema de gestión de la calidad de una organización, sino que fija requisitos mínimos que deben cumplir los sistemas de gestión de la calidad. Dentro de estos requisitos hay una amplia gama de posibilidades que permiten a cada organización definir su

propio sistema de gestión de la calidad, de acuerdo con sus características particulares.

Las normas ISO relacionadas con la calidad son las siguientes:

- ISO 9000: *Sistemas de gestión de la calidad – fundamentos y vocabulario*. En ella se definen términos relacionados con la calidad y establece lineamientos generales para los sistemas de gestión de la calidad.
- ISO 9001: *Sistemas de gestión de la calidad – requisitos*. establece los requisitos mínimos que debe cumplir un sistema de gestión de la calidad. Puede utilizarse para su aplicación interna, para certificación o para fines contractuales.
- ISO 9004: *Sistemas de gestión de la calidad –directrices para la mejora del desempeño*. Proporciona orientación para ir más allá de los requisitos de la ISO 9001, persiguiendo la mejora continua del sistema de gestión de la calidad.
- ISO 9001 del 2000 utiliza un enfoque orientado a procesos. Un proceso es un conjunto de actividades que utiliza recursos humanos, materiales y procedimientos para transformar lo que entra al proceso en un producto de salida.

También se puede tomar en cuenta las 5S como herramientas básicas de mejora de la calidad de vida.

Las 5S es una práctica de calidad ideada en Japón referida al “mantenimiento integral” de la empresa, no solo de maquinaria, equipo e infraestructura, sino del mantenimiento del entorno de trabajo por parte de todos.

En Inglés se ha dado en llamar *housekeeping*, que traducido es “ser amos de casa también en el trabajo”.

Las iniciales de las 5S:

Japonés	Castellano
<i>Seiri</i>	Clasificación y Descarte
<i>Seiton</i>	Organización
<i>Seiso</i>	Limpieza
<i>Seiketsu</i>	Higiene y Visualización
<i>Shitsuke</i>	Disciplina y Compromiso

Es una técnica que se aplica en todo el mundo con excelentes resultados por su sencillez y efectividad.

Su aplicación mejora los niveles de:

- Calidad
- Eliminación de tiempos muertos
- Reducción de costos

La aplicación de esta técnica requiere el compromiso personal y duradero para que la empresa sea un auténtico modelo de organización, limpieza, seguridad e higiene.

Los primeros en asumir este compromiso son los gerentes y los jefes y la aplicación de esta es el ejemplo más claro de resultados acorto plazo.

Figura 5. **Las 5S**



Fuente: elaboración propia.

### **3. MONTAJE DE MAQUINARIA Y EQUIPOS INDUSTRIALES**

En el montaje de maquinaria y equipos industriales, el fin de los cimientos de máquinas es el de distribuir las cargas concentradas que las mismas provocan sobre cierta área del suelo de manera que la presión unitaria esté dentro de ciertos límites admisibles. Generalmente están hechos de hormigón, ladrillo, barro o piedra.

#### **3.1. Análisis de suelos**

Se pueden dividir los terrenos en dos categorías, las rocas y los suelos sueltos. Se llaman rocas a los terrenos que no sufren modificación sensible en presencia de agua, su capacidad natural y sus conexiones internas hacen que su resistencia sea prácticamente adecuada a escala de obras de cimientos de máquinas. Se llaman suelos sueltos, o simplemente suelos, a los terrenos cuya capacidad es pequeña y en los que, por lo tanto, una excavación de cierta importancia necesita apuntalamientos. Por lo tanto, se debe analizar la composición del suelo para determinar la clase de suelo que se tiene para la buena cimentación de la maquinaria o equipo a montar.

##### **3.1.1. Orígenes y procesos de formación**

El término suelo puede tener diferentes significados, dependiendo del contexto en el que se use. Para el geólogo, suelo describe las capas de material suelto sin consolidar que se extienden desde la superficie hasta la roca sólida, y que se han formado por el intemperismo y la desintegración de las propias rocas. Por otra parte, para el ingeniero, el concepto de "suelo" está

relacionado con la obra que pueda hacer sobre él, con él o en él. Por consiguiente, para la ingeniería el término suelo se refiere al material que se puede utilizar sin necesidad de perforaciones o voladuras. Los podólogos, agrónomos, horticultores y otros tendrán o preferirán su propia definición.

En el estudio de los orígenes del suelo se aplicará el punto de vista del geólogo, aunque en lo que se refiere a la clasificación y propiedades para propósitos de ingeniería, se usarán las definiciones de aceptación general en este campo.

Todos los suelos tienen su origen, directa o indirectamente, en las rocas sólidas, que se clasifican de acuerdo con su proceso de formación de la siguiente manera:

- Rocas ígneas: formadas por enfriamiento de material fundido (magma) dentro o sobre la superficie de la corteza terrestre, como por ejemplo: granito, basalto, dolerita, andesita, gabro, sienita y pórfido.
- Rocas sedimentarias: formadas en capas acumuladas por el asentamiento de sedimentos en cuerpos de agua, como mares y lagos; por ejemplo: caliza, arenisca, lodolita, esquisto y conglomerados.
- Rocas metamórficas: formadas por la modificación de rocas ya existentes a causa de: calor extremo, como el mármol y la cuarcita, o presiones muy altas, como la pizarra y el esquisto.

Los procesos que transforman a las rocas sólidas en suelos se dan en, o cerca de, la superficie y, aunque son complejos, dependen de los siguientes factores:

- Naturaleza y composición de la roca madre.
- Condiciones climáticas, en especial temperatura y humedad.
- Condiciones topográficas y generales de terreno, tales como grado de protección o exposición, densidad y tipo de vegetación, entre otros.
- Duración de las condiciones específicas prevalecientes.
- Interferencia de otros factores, como los cataclismos, los terremotos y las actividades humanas.
- Mecanismos y condiciones de acarreo natural.

Puesto que una discusión detallada de estos factores queda fuera de los alcances del presente trabajo, el lector deberá consultar algún texto adicional de geología.

No obstante, resulta conveniente describir los efectos de algunos de estos factores, ya que producen características y propiedades específicas en los depósitos finales de los suelos.

### **3.1.2. Composición mineral del suelo**

La mayor parte de los suelos consiste en mezclas de partículas minerales inorgánicas con porciones de agua y aire. Por lo tanto, es conveniente concebir un modelo de suelo con tres fases: sólida, líquida y gaseosa.

- Fragmentos de rocas: son los trozos identificables de la roca madre que contienen diversos minerales. En general, los fragmentos de roca, a diferencia de los granos de mineral, son bastante grandes (>2 mm), es decir, entre el tamaño de arena y el de grava. La firmeza global de un suelo depende del grado de descomposición mineral diferencial en los fragmentos individuales.

Por ejemplo, la presencia de fragmentos graníticos caolinizados afecta la resistencia a la trituración o a la resistencia al corte del suelo.

- Granos minerales: se trata de partículas separadas, cada una con un mineral específico y una gran variedad de tamaños, desde grava (2 mm) hasta arcilla (1 J.lm). Aún cuando algunos suelos contienen mezclas de diversos minerales, un gran número de ellos está formado por un solo mineral en forma casi exclusiva. Los mejores ejemplos de estos últimos se encuentran abundantemente en los depósitos de arena, donde el mineral predominante es el cuarzo, debido a sus cualidades de resistencia. Por conveniencia, se dividen los suelos en dos grupos principales: de grano grueso y de grano fino.
  - Los suelos de grano grueso son aquellos que tienen tamaños de partícula mayores que 0,06 mm, es decir, arenas y gravas. Sus granos son redondeados o angulares y en general están constituidos por fragmentos de rocas, cuarzo o jaspe, con presencia frecuente de óxido de hierro, calcita y mica. La forma relativamente equidimensional es función de la estructura cristalina de los minerales y el grado de redondez depende de la cantidad de desgaste que ha tenido lugar.
  - Los suelos de grano fino tienen partículas menores que 0.06 mm y tienen forma típicamente escamosa, como los limos y las arcillas. Los óxidos y sulfuros muy finos, y a veces la materia orgánica, pueden estar presentes también. De mayor importancia en el contexto de ingeniería es la descamación de los minerales arcillosos, que da lugar a áreas superficiales muy grandes.

- **Materia orgánica:** proviene de restos vegetales o animales cuyo producto final, conocido como el humus, es una mezcla compleja de compuestos orgánicos. La materia orgánica es una de las características del suelo superficial que se presenta como tierra vegetal, con 0,5 m de espesor y no más. Los depósitos de turba son predominantemente material orgánico fibroso. Desde el punto de vista de ingeniería, la materia orgánica tiene propiedades indeseables.

Por ejemplo, es altamente compresible y absorbe grandes cantidades de agua, de modo que los cambios en la carga o en el contenido de humedad producen cambios considerables en su volumen, planteando serios problemas de asentamiento. La materia orgánica también tiene una resistencia muy baja al esfuerzo cortante y, en consecuencia, baja capacidad de carga. La presencia de materia orgánica afecta al fraguado del cemento y, por lo tanto, presenta dificultades en la fabricación del concreto y la estabilización de los suelos.

- **Agua:** es parte fundamental de los suelos naturales y, de hecho, su efecto sobre las propiedades ingenieriles es el más pronunciado de todos los constituyentes. El desplazamiento del agua a través de la masa del suelo debe estudiarse con gran detalle, en lo que se refiere a los problemas de infiltración y permeabilidad, además, con un enfoque algo diferente cuando se estudien los problemas de compresibilidad. El agua no tiene resistencia al corte, no es compresible y, por consiguiente, transmite la presión directamente. Por esta razón, las condiciones de drenaje en la masa de un suelo tienen gran importancia al estudiar su resistencia al corte. Además, el agua puede disolver y acarrear en solución un gran número de sales y otros compuestos, algunos de los cuales tienen efectos indeseables. Por ejemplo, la presencia de sulfato

de calcio (y en menor grado, de sulfatos de sodio y magnesio) es muy común en muchos suelos arcillosos.

La presencia de iones sulfato tiene un efecto perjudicial serio sobre uno de los componentes del cemento Portland y, por lo tanto, pueden afectar a los cimientos y demás subestructuras de concreto.

- Aire: desde un punto de vista práctico, se puede considerar que los suelos están perfectamente secos o completamente saturados, o bien en una condición intermedia entre estos dos extremos. Sin embargo, para ser exactos, estos extremos no se presentan en la realidad. En los suelos considerados como secos habrá vapor de agua presente, mientras que un suelo completamente saturado puede contener hasta el 29 % de aire atrapado. El aire, desde luego, es compresible y el vapor de agua se puede congelar. Ambos fenómenos son importantes desde el punto de vista de la ingeniería.

### **3.1.3. Terminología de la ingeniería de suelos**

El término suelo puede tener diferentes significados, dependiendo del área de estudio. En el caso de la ingeniería, la terminología debe proporcionar información relacionada con el comportamiento ingenieril y sus procesos. Los siguientes son los términos y definiciones más comunes en los informes, textos, investigaciones, artículos de revistas y otros documentos relacionados con las aplicaciones de ingeniería y usos de los suelos.

- Roca: es un depósito coherente, duro y rígido que forma parte de la corteza terrestre, y que puede ser de origen ígneo, sedimentario o metamórfico. Para el geólogo, el termino roca puede referirse a cualquier

material coherente de la corteza que tenga una antigüedad superior a un millón de años. No obstante, los materiales blandos como arcillas, lutitas y arenas, cualquiera que sea su antigüedad, serán descritos por el geólogo como rocas, y como suelos por el ingeniero.

- Suelo: en ingeniería se considera cualquier material suelto o excavable en el cual, con el cual o sobre el cual se trabaja. El mantillo o capa vegetal superior, aunque su remoción y su reemplazo son procesos de ingeniería, en general, no queda dentro del término genérico de suelo "para ingeniería". El subsuelo es esencialmente un término agrícola que describe una capa inerte entre el suelo superficial y el lecho rocoso; se debe evitar su uso en ingeniería.
- Suelo orgánico: se trata de una mezcla de granos minerales y materia orgánica, en su mayor parte de origen vegetal, en diversos grados de descomposición. Muchos suelos orgánicos tienen su origen en lagos, bahías, estuarios, puertos y pantanos. La presencia de materia orgánica tiende a proporcionar al suelo una textura más tersa al tacto y, también, puede caracterizarse por su color oscuro y olor peculiar.
- Turba: la verdadera turba está constituida en su totalidad por materia orgánica; es un material muy esponjoso, altamente compresible y combustible. También puede contener algo de materia inorgánica y, a medida que esta aumenta, se presentan las características de los suelos orgánicos. Desde el punto de vista de la ingeniería, las turbas representan muchos problemas debido a sus altas compresibilidades, relación de vacíos, contenido de humedad y, en muchos casos, a su acidez.

- Suelos residuales: estos son los remanentes de la intemperización de las rocas que no han sido acarreadas. Suelen ser arenosos o con gravas (gravosos) con altas concentraciones de óxidos, resultantes de los procesos de lixiviación; por ejemplo, laterita y caolinita.
- Suelos aluviales (aluvión): son materiales depositados por corrientes y ríos como las arenas y las gravas. Los depósitos aluviales suelen tener una buena graduación, pero casi siempre se presentan en formaciones discontinuas e irregulares.
- Suelos cohesivos: suelos que contienen partículas de arcilla o limo, que imparten cohesión y plasticidad.
- Suelos no cohesivos: suelos como arenas o gravas que consisten en partículas redondeadas (no laminares) y sin plasticidad.
- Arcilla de Boulder: llamada algunas veces till o tillita; se trata de suelos de origen glacial constituidos por una gran diversidad de tamaños de partícula, desde roca finamente pulverizada hasta pedruscos de tamaño regular.
- Suelos transportados: este es un término geológico que describe a los depósitos superficiales no consolidados de origen reciente, tales como aluvión, depósitos glaciares, arena arrastrada por el viento, entre otros.

### **3.1.4. Problemas y propiedades ingenieriles**

El estudio de los suelos, desde un punto de vista ingenieril, involucra la aplicación de diversas disciplinas científicas, como mineralogía, química, física, mecánica e hidráulica. Además, en algunos temas intervienen las matemáticas y, de hecho, muchos problemas deben resolverse de manera cuantitativa para lograr respuestas numéricas. Por supuesto, los enfoques y las técnicas necesarias para resolver los problemas de ingeniería varían con el tipo de problema y la importancia relativa de las limitaciones inherentes; pero en general, deben incluirse las siguientes consideraciones:

- Naturaleza del material, que incluye una determinación de sus propiedades ingenieriles más importantes.
- Conocimientos básicos de las condiciones generales del problema, que encierran el estudio de las características de comportamiento del material en las circunstancias prevalecientes.
- Como consecuencia de los dos primeros puntos, un modelo o representación del comportamiento esperado en términos matemáticos o mecánicos.
- Aplicación de los factores restrictivos como tiempo, factores de seguridad, estética, controles de planeación, disponibilidad de materiales o procesos, viabilidad operacional o de mantenimiento, así como factores de costo que suelen ser de importancia decisiva.
- Obtención de soluciones racionales en términos de ingeniería, pero que también cumplan adecuadamente con los otros factores.

Las áreas problemáticas en la mecánica de suelos pueden resumirse convenientemente como sigue:

- Excavación: es la acción de extraer y remover material con el objeto de preparar un lugar para la construcción. En este caso los problemas están muy relacionados con la sustentación.
- Sustentación del suelo: tanto en el caso de los taludes naturales como en el de los taludes contruidos (terraplenes) es necesario determinar su capacidad intrínseca de autosustentación. Cuando se van a realizar excavaciones (por ejemplo zanjas o sótanos) u otros cortes (por ejemplo cortes de caminos) será indispensable determinar la necesidad de una sustentación externa y su magnitud.
- Flujo de agua: cuando un suelo es permeable y el agua puede fluir a través de él, se presentan problemas relacionados con la cantidad de infiltración y sus efectos.
- Suelos como medios de sustentación: la masa del suelo bajo una estructura adyacente a ella es parte del sistema de cimentación; por lo tanto, resulta necesario investigar su comportamiento como medio de sustentación. Los problemas de esta naturaleza pueden dividirse en dos subcategorías:
  - Problemas de fallas al corte: en estos se investigan los posibles mecanismos de falla en las zonas en donde se desarrollan superficies de ruptura debido a que se excede la resistencia al corte de los suelos.
  - Problemas de compresibilidad: se induce un cambio en el volumen en todos los suelos cuando se aumentan las cargas en limos,

arcillas y arenas sueltas; esto puede ocasionar un problema serio de asentamiento.

- **Construcción con suelos:** los suelos son ampliamente usados como materiales de construcción para carreteras, pistas aéreas, represas, diques y obras similares. Así como en el caso de otros materiales de construcción, es necesario medir las propiedades del suelo antes de usarlo, como el concreto o el acero; por lo que se debe aplicar un tipo de control de calidad para garantizar buenos resultados en la construcción.
- **Descripción y calificación:** una óptima descripción del material es el punto de partida de la mayor parte de los problemas, si no es que todos. Debe ser racional, desde un punto de vista de ingeniería, tanto en sus aspectos cualitativos como cuantitativos. Por lo tanto, es conveniente comenzar los estudios detallados de ingeniería de los suelos con una descripción adecuada.

### **3.1.5. Principios de clasificación de los suelos**

Para describir los diferentes materiales que aparecen en las exploraciones, es necesario contar con una clasificación convencional de los tipos de suelos. El sistema a adoptar debe ser lo suficientemente detallado para que incluya todos los depósitos naturales, excepto los más raros, y aún así, debe ser razonable, sistemático y conciso. Este tipo de sistema resulta necesario si se desean obtener conclusiones útiles basadas en los estudios del tipo de material. Al no contar con un sistema de clasificación, las informaciones publicadas basadas en el tipo de suelo o las recomendaciones de diseño o construcción pueden resultar confusas y sería muy difícil aplicar la experiencia adquirida a diseños futuros. Además, a menos que se adopte un sistema

convencional de nomenclatura, las interpretaciones conflictivas de los términos empleados pueden provocar confusiones conducentes a un proceso de comunicación ineficiente.

Para que resulte adecuado para este propósito básico, cualquier sistema de clasificación debe satisfacer las siguientes condiciones:

- Debe incorporar en forma descriptiva términos breves pero ilustrativos para el usuario.
- Las clases y subclases deben quedar definidas por parámetros razonables cuya medición cuantitativa sea relativamente fácil.
- Las clases y subclases deben permitir agrupar los suelos con características que impliquen propiedades de ingeniería similares.

La mayor parte de las clasificaciones divide los suelos en tres grupos principales: gruesos, finos y orgánicos.

En Gran Bretaña, las normas y recomendaciones tanto para la identificación en el campo como para la clasificación detallada pueden encontrarse en la publicación BS 5930 *Site investigation* (1981). Se incluye una clasificación detallada que permite identificaciones de campo basándose en varios ensayos simples. Cuando se dispone de más datos, como pruebas de laboratorio, en especial cuando se trate de usar al suelo para construcciones, se recomienda el uso del *Sistema británico de clasificación de suelos para propósitos de ingeniería*.

### 3.1.6. Identificación de campo

Esta etapa del proceso de describir y clasificar a los suelos se lleva a cabo durante la exploración del sitio. Durante la exploración es importante tratar de describir la naturaleza y formación de todos los materiales subsuperficiales que aparezcan. Siempre que sea posible, se debe establecer una clasificación preliminar, de tal manera que se cuente con la información más completa para continuar el trabajo. Por lo general, después de los ensayos de laboratorio se procede a establecer una clasificación más precisa y completa.

Para la identificación y clasificación en el campo se realizan los siguientes ensayos simples:

- **Tamaño de partícula:** se identifican los grupos principales por examen visual y por el tacto. Las partículas de grava ( $> 2 \text{ mm}$ ) se pueden reconocer con facilidad; las arenas ( $0,06 < d < 2 \text{ mm}$ ) tienen un tacto áspero característico entre los dedos; los limos ( $0,002 \text{ mm} < d < 0,06 \text{ mm}$ ) se sienten ligeramente abrasivos, pero no terrosos; las arcillas ( $< 0,002 \text{ mm}$ ) tienen tacto grasoso.
- **Graduación:** la graduación de un suelo se refiere a la distribución de tamaños: un suelo de buena graduación tiene una amplia distribución de tamaños de partícula, mientras que otro de mala graduación, o uniforme solo contiene un intervalo estrecho de tamaños de partícula. Para una estimación rápida de los tamaños de partícula y la graduación, se puede llevar a cabo una prueba de sedimentación en campo, en una jarra o botella altas.

Se agita una muestra del suelo con agua en la jarra y a continuación se deja reposar durante algunos minutos. Las partículas más gruesas van al fondo primero, seguidas de los tamaños progresivamente más pequeños. El examen siguiente de la naturaleza y espesor de las capas de sedimento dará las proporciones aproximadas de los intervalos de tamaños. Si hay más del 65 % de partículas mayores que 0,06 mm, el suelo se clasifica como grueso, es decir, se trata de arena o de grava. El término suelo fino se usa cuando más del 35 % de las partículas son menores que 0,06 mm; es decir, es un limo o una arcilla.

- Compacidad: la compacidad o resistencia en campo se puede estimar mediante un azadón o pica de mano, o al clavar una estaca pequeña de madera; a continuación se informa si el suelo es suelto, denso o ligeramente cementado, según sean los resultados.
- Estructura: las observaciones de las características estructurales son muy útiles y se efectúan cómodamente en pozos de prueba, cortes u otras excavaciones. Se usan los siguientes términos descriptivos:
  - Homogéneos: los que consisten esencialmente de un tipo de suelo.
  - Interestratificados: cuando se alternan capas o bandas de distintos materiales el espaciamiento de intervalos entre los "pianos de sedimentación" se deben anotar como se indica en el anexo 1.
  - Intactos: suelos finos no fisurados.
  - Fisurados: se debe anotar la dirección, tamaño y espaciamiento de las fisuras mediante la escala que aparece en el anexo 1.

- Cohesión, plasticidad y consistencia: si las partículas del suelo quedan adheridas entre sí, el suelo tiene cohesión y, si se puede moldear sin romperse, posee plasticidad. Ambos comportamientos dependen del contenido de humedad del suelo. Ayuda el informe de campo sobre la consistencia aparente del suelo, como indicador de su comportamiento cohesivo o plástico. Después de quitar las partículas mayores de 2 mm, se exprime un puñado de suelo con su humedad natural para tratar de moldearlo en la mano y a continuación se describe su consistencia como sigue:
  - Muy blando: cuando se escurre entre los dedos
  - Blando: cuando es fácil de moldear y se adhiere a la mano
  - Firme: cuando se moldea con facilidad a una presión moderada
  - Muy firme: cuando requiere presión considerable para moldearlo
  - Duro: cuando no se puede moldear con la presión de la mano
  - Desmenuzable: cuando se desmorona con la presión de la mano
  
- Dilatancia: se eliminan las partículas mayores a unos 2 mm y el suelo se humedece lo suficiente para que resulte blando pero no pegajoso. Esta pasta de suelo se coloca sobre la palma de la mano y con la otra se golpetea la orilla de la mano que la sostiene, repitiendo varias veces. El suelo presenta dilatancia cuando, como resultado del golpeteo, aparece una película brillante de agua. Después, al presionarla con suavidad, el agua desaparece de la superficie y vuelve a adquirir rigidez. Las arenas muy finas y los limos inorgánicos presentan gran dilatancia, mientras que las arcillas y las arenas medias a gruesas no la muestran.
  
- Resistencia en seco: la pasta de suelo usada para el ensayo de dilatancia se seca, de preferencia en una estufa, pero si las condiciones

son adecuadas basta con secarla al aire. La resistencia del suelo seco se estima desmenuzando con los dedos la pasta seca. Una alta resistencia en seco indica la presencia de una arcilla de gran plasticidad; los limos inorgánicos presentan una baja resistencia en seco, y se pulverizan al frotarlos. La presencia de arena reduce la resistencia en seco de los limos y, también, producen un tacto áspero al frotarse.

- Intemperización: las condiciones climatológicas en la superficie del terreno o en las caras expuestas pueden conducir a la intemperización o intemperismo del suelo, lo que puede originar una reducción de resistencia y un aumento en la compresibilidad. Se debe anotar el grado de intemperización que se aprecia en el suelo recién descubierto. Chandler (1969) recomienda un sistema para margas de Keuper que se puede generalizar para describir el estado intemperizado de suelos que originalmente eran de rígidas a duros:
  - No intemperizado: sin signos visibles de intemperismo.
  - Ligeramente intemperizado: debilitamiento aparente a lo largo de empalmes o fisuras, pero siguen intactos los bloques de suelo entre ellas.
  - Moderadamente intemperizado: textura rota en parte, y con algunas porciones con mayor humedad que otras.
  - Altamente intemperizado: textura muy rota y reblandecimiento; la estructura original apenas se aprecia.
  - Completamente intemperizado: sin estructura, matriz suave, mucho más débil que el suelo original.

### **3.1.7. Características granulométricas**

La curva granulométrica es una representación gráfica de la distribución de tamaños de partícula, por lo tanto, útil por sí misma como un medio para describir los suelos. Por esta razón, siempre resulta una buena idea incluir en los informes de laboratorio o similares copias de la curva de granulometría. Debe recordarse también que el objetivo principal es proporcionar un término descriptivo del tipo de suelo. Esto se facilita mucho con el uso de gráficas, que permiten estimar los intervalos de tamaños que se encuentran en la fracción más representativa del suelo.

Por ejemplo, tomando como base el anexo 2, la curva A puede considerarse como representativa de una arena media mal graduada, debido a que la curva tiene mucha pendiente, lo que indica un intervalo estrecho de tamaños, y se trata de un tamaño medio debido a que la mayor proporción de suelo (aproximadamente el 65 %) queda situado en el subintervalo de la arena media. La curva B representa un material bien graduado que contiene un intervalo amplio de tamaños de partícula, desde arena fina hasta grava media. Este suelo puede describirse como una grava arenosa bien graduada, pues más de la mitad del suelo es grava en un 60 % y el resto es arena en un 40 %.

La curva C también representa un material bien graduado en el que predomina la arena, pero con una fracción significativa de limo (un 20 %). Este suelo debe describirse como arena muy limosa, con el sustantivo indicando la fracción predominante. La curva D indica un limo muy arenoso, por ejemplo, limo de estuario o de delta; la curva E indica una arcilla limosa, por ejemplo, arcilla London o arcilla Oxford.

Existe otro análisis cuantitativo de curvas de granulometría que puede llevarse a cabo usando ciertos valores geométricos llamados características de graduación.

Primero, se localizan tres puntos indicativos en la curva granulométrica de los siguientes tamaños característicos (ver anexo 3).

- D10 = tamaño máximo del 10% más pequeño de la muestra
- D30 = tamaño máximo del 30% más pequeño de la muestra
- D60 = tamaño máximo del 60% más pequeño de la muestra

A partir de estos tamaños se definen las siguientes características de graduación:

Tamaño efectivo = D10

Coefficiente de uniformidad

$$Cu = \frac{D60}{D10}$$

Coefficiente de curvatura

$$Cc = \frac{(D30)^2}{D60 \times D10}$$

Tanto Cu como Cc, son unitarios para un suelo de un solo tamaño, mientras que Cu < 3 indica una graduación uniforme y Cu > 5 una muy buena graduación.

La mayor parte de los suelos de buena graduación tienen curvas granulométricas casi planas o ligeramente cóncavas, que dan valores de C,

entre 0,5 y 2,0. Una de las aplicaciones útiles es una aproximación del coeficiente de permeabilidad, tal como lo sugirió Hazen.

Coeficiente de permeabilidad (k) =  $C_k (D_{10})^2$  m/s

Donde  $C_k$  = coeficiente variable entre 0.01 y 0.015

### **3.1.8. Modelo del suelo y propiedades básicas**

Las propiedades físicas básicas de un suelo son las que se requieren para definir su estado físico. Para los propósitos del análisis y diseño de ingeniería, es necesario cuantificar las tres fases constituyentes (sólida, líquida y gaseosa) y expresar las relaciones entre ellas en términos numéricos. Por ejemplo, el contenido de humedad de un suelo es simplemente la relación de la masa de agua con la masa de sólido. Las densidades, esto es, las relaciones entre la masa y el volumen, también son medidas importantes del estado físico de un suelo. En un suelo típico, el sólido, el líquido (agua) y el gas (aire) están entremezclados en forma natural, por lo que resulta difícil visualizar sus proporciones relativas. Por consiguiente, es muy conveniente considerar un modelo de suelo en el cual las tres fases se separan en cantidades individuales correspondientes a sus proporciones correctas.

Se pueden proponer diversos modelos de fases y cada uno de ellos recibe su nombre basado en la cantidad que proporciona una referencia unitaria. Por ejemplo, el modelo unitario de volumen sólido está basado en una unidad de volumen, como  $1 \text{ m}^3$  de material sólido; el modelo de masa sólida unitaria se basa en una unidad de masa, como 1 kg; el modelo de volumen total unitario se basa en una unidad de volumen de las tres fases combinadas.

Para la mayor parte de los propósitos de la mecánica de suelos, el más conveniente es el modelo de volumen sólido unitario, puesto que los constituyentes sólidos del suelo (con la excepción de las turbas) son materiales incompresibles. Por lo tanto, el modelo se construye como si fuera de una unidad ( $1 \text{ m}^3$ ) de material sólido que se supone permanece constante. Todas las demás cantidades se expresan con referencia a esta medida. De esta forma, un suelo dado se describe como un volumen fijo de material sólido con el cual están asociadas diversas cantidades de agua y aire. A la cantidad y volumen de suelo que no está ocupada por sólidos se le llama volumen de vacíos, siendo igual a la relación de volumen de vacíos al volumen de sólidos. En un suelo perfectamente seco no existe agua y el volumen de vacíos es de aire en su totalidad; en un suelo saturado el volumen de vacíos está lleno de agua.

- Relación de vacíos (e)

El volumen no ocupado por los sólidos se conoce como volumen de vacíos: puede estar ocupado por agua, aire, o por una mezcla de ambos.

$$\text{Relación de vacíos (e)} = \frac{\text{Volumen de vacíos}}{\text{Volumen de sólidos}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

- Porosidad (n)

Otra forma de expresar la cantidad de vacíos consiste en relacionar el volumen de estos con el volumen total:

$$\text{Porosidad, n} = \frac{\text{Volumen de vacíos}}{\text{Volumen total}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

- Volumen específico ( $v$ )

El volumen total del modelo de suelo es igual a  $1 + e$ , siendo esta cantidad el volumen específico del suelo.

$$\text{Volumen específico, } v = 1 + e \quad (\text{Ecuación 3})$$

- Grado de saturación ( $S_r$ )

La cantidad de agua en el suelo puede expresarse como una fracción del volumen de vacíos; esta fracción se conoce con el nombre de grado de saturación.

$$\text{Relación de vacíos (e)} = \frac{\text{Volumen de agua}}{\text{Volumen de vacíos}} = \frac{V_w}{V_v} \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$\circ \quad V_w = S_r e$$

$$\text{Porcentaje de saturación} \quad S_r = 100$$

$$\text{Para un suelo perfectamente seco} \quad S_r = 0$$

$$\text{Para un suelo saturado} \quad S_r = 1$$

- Relación de aire-vacíos ( $A_v$ )

El volumen de aire-vacíos de un suelo es la parte del volumen de vacíos no ocupado por el agua.

$$\text{Volumen aire-vacíos} = \text{volumen de vacíos} - \text{volumen de agua}$$

$$\begin{aligned}
V_a &= V_v - V_w \\
&= e - S_r e \\
&= e(1 - S_r)
\end{aligned}
\tag{Ecuación 5}$$

La relación aire-vacíos es la relación del volumen aire-vacíos al volumen específico del suelo.

$$A_v = \frac{e(1 - S_r)}{1 + e} = n(1 - S_r)$$

o, puesto que  $S_r = \frac{m \cdot G_s}{e}$  (Ecuación 6)

$$A_v = \frac{e - m \cdot S_r}{1 + e} \tag{Ecuación 7}$$

- Porcentaje de vacíos de aire = 100 A.
- Peso específico relativo de los sólidos (G,) y densidad de partículas (p.).

La relación de la masa de un volumen dado de un material a la masa del mismo volumen de agua recibe el nombre de peso específico relativo del material. La masa de una unidad de volumen solido en el modelo de suelo es:

$$M_s = G_s P_w \tag{Ecuación 8a}$$

Donde  $P_w$  = densidad del agua, que puede considerarse como  $1,00 \text{ mg/m}^3$

La densidad de partícula ( $P_s$ ), o densidad de grano, es la masa por unidad de volumen de las partículas sólidas, o granos, y es igual a

$$P_s = G_s P_w \quad (\text{Ecuación 8b})$$

La masa del agua en el modelo del suelo es:

$$M_w = S_r e P_w \quad (\text{Ecuación 9})$$

- Contenido de humedad (m)

La proporción de la masa de agua a la masa de sólidos recibe el nombre de contenido de humedad del suelo.

$$\text{Porosidad, } n = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{Masa de sólidos}} = \frac{M_w}{M_s}$$

De acuerdo con las ecuaciones (8) y (9):

$$M = \frac{S_r * e * G_s}{G_s P_w} \quad (\text{Ecuación 10})$$

$$M = \frac{S_r * e}{P_w} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Porcentaje de contenido de humedad = 100 m

### 3.1.9. Densidades de los suelos

Las cantidades conocidas con el nombre de densidades proporcionan una medición de la cantidad de material con relación a la cantidad de espacio que ocupa.

Se pueden definir diversos tipos de densidades:

$$\text{Densidad seca, } \rho_d = \frac{\text{Masa de sólidos}}{\text{Volumen total}}$$

$$\rho_d = \frac{G_s \cdot P_w}{1+e} = \frac{P_s}{1+e}$$

$$\text{Densidad total, } \rho = \frac{\text{masa de sólidos}}{\text{Volumen total}} = \frac{\text{masa de sólidos} + \text{masa de agua}}{\text{Volumen total}} \quad (\text{Ecuación 12})$$

$$\rho = \frac{G_s \cdot P_w + S_r \cdot e \cdot P_w}{1+e} = \frac{P_s + S_r \cdot e \cdot P_w}{1+e} \quad (\text{Ecuación 13})$$

La relación de estas dos densidades permite obtener una expresión muy útil.

$$\rho = \frac{G_s + S_r e}{1+e} P_w = 1 + \frac{S_r e}{G_s} \rho_d$$

o, puesto que,  $S_r e = m G_s$

$$\rho = (1 + m) \rho_d \quad (\text{Ecuación 14})$$

La densidad saturada es la densidad total del suelo cuando está saturado, esto es, cuando  $S_r = 1$ .

$$\text{Entonces, la densidad saturada, } \rho_{\text{sat}} = \frac{G_s + e}{1+e} P_w \quad (\text{Ecuación 15})$$

La densidad sumergida o densidad efectiva de un suelo es la masa efectiva por volumen unitario (total), cuando está sumergido. Al sumergir en agua un volumen unitario (total) de suelo se desplaza un volumen igual de agua; entonces, la masa neta de un volumen unitario de suelo sumergido es  $P_{sat} - P_w$ . A esto se le llama densidad sumergida.

$$\text{Densidad sumergida, } P' = P_{sat} - P_w \quad (\text{Ecuación 16})$$

- Pesos unitarios: el peso de una unidad de volumen de suelo recibe el nombre de peso unitario. Las unidades del peso unitario son fuerza por unidad de volumen, mientras que las unidades de densidad son masa por unidad de volumen. Los pesos unitarios están relacionados con las unidades correspondientes como sigue:

- Peso unitario seco  $Y_d = P_d g \text{ kN/m}^3$
- Peso unitario total  $Y = P_g \text{ kN/m}^3$
- Peso unitario saturado  $Y_{sat} = P_{sat} g \text{ kN/m}^3$
- Peso unitario del agua  $Y_w = P_w g \text{ kN/m}^3$
- Peso unitario sumergido  $Y' = Y_{sat} - Y_w \text{ kN/m}^3$

- Compacidad relativa ( $C_r$ ) o índice de densidad ( $I_d$ ): la relación de vacíos real de un suelo está situada en un punto entre los valores mínimo y máximo posibles, esto es,  $e_{min}$  y  $e_{max}$ , dependiendo del estado de compactación. En el caso de las arenas y las gravas, se presenta una considerable variación entre los dos extremos. Una forma conveniente para medir el estado de compactación consiste en establecer una relación entre relaciones de vacíos conocida como compacidad relativa o índice de densidad.

$$Cr = I_d = \frac{e_{\text{máx}} - e}{e_{\text{max}} - e_{\text{min}}} \quad (\text{Ecuación 17})$$

En esta forma, para un suelo su estado de densidad máxima,  $Cr = 1$ , y cuando esta suelto al máximo,  $Cr = 0$ . En el anexo 1 se muestra una sugerencia de clasificación simple para el estado de compactación. Los valores de relación de vacíos pueden obtenerse en ensayos de laboratorio.

### **3.2. Cimentación de máquinas**

A continuación se presentan generalidades de cimentación de máquinas, así como los factores de diseño a considerar.

#### **3.2.1. Conceptos generales sobre cimentación**

La base sobre la que descansa toda construcción o máquina se conoce con el nombre de cimientos, rara vez estos son naturales, lo más común es que tengan que construirse bajo tierra. La profundidad y la anchura de los mismos se determinan mediante cálculos matemáticos, con variables de acuerdo con las características del terreno, el material con el que se construyen y la carga que han de sostener. El plano de cimentación es la guía fundamental en el desarrollo de medidas y materiales a utilizar en su construcción.

La representación más sencilla consiste en el trazado de las líneas exteriores de los cimientos a su eje, que es también el punto de referencia de las orillas hacia las paredes o muros que descansan sobre ellos. El eje se delinea para facilitar el replanteo de los cimientos sobre el terreno, el cual se utiliza como guía para apertura de las zanjas. Las variantes que pueden darse

suelen ser en la representación de las paredes, representación parcial en los ángulos y representación de las áreas, entre otras.

### 3.2.2. Análisis de cargas

Existen dos tipos de cargas, estáticas y dinámicas.

- Cimentación sometida a carga estática

Cuando la máquina actúa por presión lenta, sobre el terreno solamente existen cargas verticales (peso propio de la máquina más el de la cimentación).

Si la carga vertical que se considera se halla aplicada en el centro de gravedad de la cimentación, la reacción del terreno se distribuirá de un modo uniforme sobre la superficie de contacto y se obtendrá fácilmente su valor dependiendo de la naturaleza del mismo.

Cuando la carga vertical actúa a una distancia  $e$  (excentricidad) del centro de gravedad del rectángulo de la base, la reacción del terreno estará representada por un trapecio de tensiones que en el caso de ser  $e \leq L/6$  donde la resultante esté dentro del tercio medio del cimiento se compondrá de las siguientes partes:

$$\sigma_1 = \frac{G}{b \cdot L} \quad G, \text{ es el peso del cimiento.}$$

$$\sigma_2 = \frac{P}{b \cdot L} \quad P, \text{ supuestamente aplicada en el centro de gravedad del cimiento.}$$

$$\sigma_3 = \pm \frac{6Pe}{L^2B}$$

Son las tensiones originadas por el momento  $P'e$

$$\sigma_{\max} = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \quad (1)$$

$$\sigma_{\min} = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \quad (2)$$

En el caso de ser  $e > L/6$ , las tensiones debidas al momento  $P'e$  forman un triángulo de longitud  $c = 3(L/2 - e)$ , dándonos un valor máximo de presión de:

$$\sigma_{\max} = \sigma_1 + \frac{2P}{3(\frac{L}{2} - e)b} \quad (3)$$

Si la cimentación tiene que soportar además un momento flector  $M=F'r$ , donde el momento equivalente sobre el cimiento será

$$M_{eq.} = P'e \pm F'r \quad (4)$$

Donde el valor positivo del último término se toma cuando el momento flector  $F'r$  tiende a producir en la cimentación un giro en el mismo sentido que el originado por la carga  $P$ .

La excentricidad equivalente será:

$$e' = \frac{P'e + F'r}{P} ; c' = 3\left(\frac{L}{2} - e'\right)$$

El valor de  $\sigma_{\max}$  cuando  $e \leq L/6$  es:

$$\sigma_{\max} = \sigma_1 + \sigma_2 + \frac{6 \text{ Meq.}}{b' L^2} \quad (5)$$

y en el caso de ser  $e \leq L/6$  será:

$$\sigma_{\max} = \sigma_1 + \frac{2P}{3\left(\frac{L}{2} - e'\right) b} \quad (6)$$

El segundo de estos dos casos ocurre para valores grandes de P y F.

- Cimentación sometida a carga dinámica

En la mayoría de los casos de cimentación de máquinas, existirán esfuerzos dinámicos que serán distintos según las características de la misma.

Antes de que se trate del comportamiento dinámico de la cimentación, es necesario evaluar las fuerzas de desequilibrio que existen para un tipo particular de máquina. En el catálogo de los fabricantes pueden estar explicadas estas fuerzas o puede ser necesario computarlas de los pesos y dimensiones de las partes móviles, de manera que la amplitud de vibración no exceda de un valor tolerable especificado.

Las fuerzas que la carga dinámica ejerce sobre las cimentaciones, pueden considerarse divididas en dos grandes grupos:

- Choques aislados: choques que se suceden de un modo irregular como en los martinets, machacadoras, paradas bruscas de alguna máquina, entre otros.
- Fuerzas oscilatorias debidas a masas en movimiento que actuarán periódicamente: un motor diésel vertical desarrollará fuerzas horizontales, las turbinas darán lugar a fuerzas centrífugas que podrán descomponerse en sus componentes verticales y horizontales.

Para el estudio de estos efectos se considerará la cimentación como bloque, formando un conjunto rígido con la máquina que soporta y descansando sobre una base elástica, ya que, bien sea el terreno natural o una capa de asiento artificial, pilotes, entre otros, siempre puede admitirse una base más o menos elástica.

El sistema considerado bajo carga repetitiva rítmica o no rítmica, dependiendo de la dirección del punto de aplicación de las mismas puede experimentar seis tipos de movimiento que se denominan como grados de libertad.

### **3.2.3. Factor de diseño**

Existen diferentes métodos de análisis para estas cimentaciones, dependiendo del tipo de maquinaria y los esfuerzos y movimientos por ellas originados.

En primer lugar, se debe tener un conocimiento adecuado de las condiciones del suelo y agua subterránea en donde se va a cimentar (investigación del subsuelo), si no se cuenta con esto se deben asumir valores de diseño conservadores. No obstante, si el ingeniero constructor duda de la capacidad del suelo deberá hacerse obligatoriamente un estudio racional del mismo.

Simultáneamente con la realización o no de la investigación del subsuelo, debe prepararse un plano de cargas y dimensiones de la máquina por cimentar, estos datos pueden obtenerse de los catálogos distribuidos por los fabricantes, cuyos datos básicos por investigar son los siguientes:

- Velocidad y fuerza normal de la máquina.
- Carácter, magnitud y punto de aplicación de las cargas dinámicas, si este dato no fuese dado, deberá asumirse, como mínimo, las excentricidades obtenidas de códigos de construcción, o bien, investigar cimientos similares ya construidos.
- Cargas estáticas impuestas por las máquinas (peso), así como sus dimensiones.
- Localización de pernos de anclaje, tuberías, ranuras, entre otros.

Para el dimensionamiento del macizo de cimentación debe seleccionarse de manera que la amplitud de vibración no se exceda del valor permisible, así como la reacción dinámica provocada en el suelo no exceda la capacidad soporte del mismo. Como una buena aproximación para iniciar el cálculo se puede asumir el peso del cimiento un 50 % mayor que el peso de la máquina.

### **3.2.4. Vibraciones como factor de diseño**

En algunos casos, los valores de amplitud de vibraciones sobrepasan los límites permisibles y es demasiado difícil disminuir estas amplitudes por medio de una selección propia de la masa o el área de contacto con el suelo de la cimentación.

Para estos casos de cimentaciones, resulta más económico disminuir las amplitudes de vibraciones por medio de materiales aislantes o resortes absorbentes, además de que resultan seguros en operación. Esto se hace para eliminar en cierto grado la transmisión de vibraciones al cimiento, así como a estructuras contiguas y especialmente a equipos con instrumentos de precisión.

Para el diseño se emplean dos tipos básicos de aisladores de vibraciones a saber:

- Capas de material aislante
- Resortes absorbentes

Para los primeros, el espesor de material aislante es usado entre la cimentación y el área de soporte, pero no son tan seguros como los tipos de resorte. El aislamiento de la cimentación puede ser acompañado por el uso de 20 a 25 cm, de grava o arena húmeda en el fondo del foso de la cimentación. Ensayos demuestran que la arena y la grava son capaces de reducir la transmisión de las vibraciones de la máquina por más de un tercio o la mitad. Los valores de aislamiento de grava son un poco más grandes que los de la arena.

Para minimizar los asentamientos de la cimentación, la grava o arena deben ser bien compactadas antes de verter el concreto para el cimiento. El foso de la cimentación debe ser ligeramente más grande en su largo y ancho que la base del bloque de concreto. Se coloca formaleta de madera para verter después el concreto, luego, dicha formaleta es removida y se coloca un material aislante en su lugar, alrededor del cimiento, quedando completamente aislado el cimiento de la tierra circundante. Hule o asfalto se utiliza para aislar la cimentación del subsuelo, sin embargo, este método es usado en losas de cimentación circundantes al cimiento, en donde se usan juntas expansivas para separación. Esto evita el viaje de las vibraciones del cimiento a la losa y evita la pérdida de herramientas en las aberturas durante el servicio de la máquina.

En lo que respecta al segundo tipo, las características principales de los resortes son los diámetros y el número de espiras, y son seleccionados de acuerdo a los cálculos dinámicos. Dependiendo del cabeceo, balanceo de la máquina y de su velocidad de operación, hay dos métodos diferentes que pueden ser usados para el aislamiento de vibraciones de cimentaciones por medio de resortes absorbentes, y estos son: resortes de soporte y resortes de suspensión.

El tipo de resorte de soporte o apoyo se utiliza para máquinas de alta velocidad, estas máquinas son de más de 300 RPM y no es necesario un peso adicional encima de los resortes que se instalan en cada perno de anclaje sobre cimiento.

En el aislamiento de vibraciones de máquinas de frecuencia baja, si se utiliza el tipo de resortes de soporte, se ve en la necesidad de proveer un peso adicional (otro cimiento) arriba de los resortes y esto obstaculiza su montaje, regulación y mantenimiento. En tales casos se prefiere el tipo de resortes de

suspensión, donde su diseño difiere del de soporte solamente por el largo considerable del tornillo de anclaje que pasa a través del resorte.

Es importante determinar si es necesario aislar las vibraciones generadas por las máquinas y qué grado de aislamiento es requerido. Por ejemplo, cuando se planea la instalación de la máquina en un lugar apartado, los problemas de vibraciones pueden ignorarse; mientras que si la máquina se instala en un edificio con muchos ocupantes debe aislarse de las vibraciones efectivamente. El tipo de aislador seleccionado afectará el diseño y el costo de la cimentación.

Para obtener una información general o conseguir una información específica de aisladores de vibraciones, se recomienda al diseñador consultar a los fabricantes o distribuidores de maquinaria.

### **3.2.5. Concreto armado**

Se le da este nombre al concreto simple más acero de refuerzo; básicamente cuando se tiene un elemento estructural que trabajará a compresión y a tracción (tensión). Ningún esfuerzo de tensión será soportado por el concreto, es por ello que se debe incluir un área de acero que nos asuma esta sollicitación, dicho valor se traducirá en el número de varillas y su diámetro, así como su disposición.

Compuesto por cuatro elementos básico: grava, arena, cemento (tipo I, II, III, IV, V) y agua, con ellos se genera una “piedra” sumamente dura y resistente, es por esto que se usa en estructuras ofreciendo una muy buena capacidad para someterse a compresión.

- Agregados pétreos: indispensable que sean de la mejor calidad, son:

- Grava: se debe buscar la mayor cantidad de superficies planas y angularidad (tritutados son los más indicados), con ello se garantiza una mayor cobertura de la mezcla y un mejor trabe entre los componentes (adherencia y cohesión), especial cuidado en el tamaño máximo. Evitar el cuarzo (por ello y por su forma el material de río no es recomendable).
- Arena: libre de materia orgánica, con una finura correcta, según gradación de diseño. Evitar cuarzo.
- Concreto simple: es el concreto que sin la presencia de acero de refuerzo, este material solo podrá usarse en elementos sometidos a compresión. Tiene especial importancia estructural cuando su uso final es construcción de elementos que trabajan por gravedad (peso propio), ejemplo: concreto ciclópeo (concreto simple + rocas con tam > 10”), estribos de puentes y muertos para anclaje de cables en puentes colgantes o atirantados, bases para ciertas estructuras o equipos.

### **3.2.6. Proyectos de cimentación**

A diferencia de las cimentaciones de edificación, que generalmente están sometidas a cargas estáticas o cuasiestáticas, las cimentaciones de maquinaria están sometidas frecuentemente a cargas cíclicas, la existencia de cargas cíclicas obliga a considerar el estado límite de servicio de vibraciones y el estado límite último de fatiga. Algunos tipos de cimentación usados para maquinaria son:

- Tipo bloque: es la cimentación más usada en superficies planas y de dimensiones grandes, principalmente se usa para máquinas de impacto vertical o de gran peso, tiene forma de cubo o de paralelepípedo según su diseño geométrico, fabricada de mampostería, hormigón o placas de acero.
- Tipo celda: muy parecida a la cimentación tipo bloque, varía ya que su diseño de pequeños cubos o pequeños paralelepípedos se acomodan para formar una cimentación de dimensiones considerables, perfecto en suelos a desnivel y poco accidentados, absorbe mejor las vibraciones y es muy utilizada en máquinas de impacto y máquinas rotativas, fabricadas de mampostería y hormigón.
- De muros: se utiliza para detener masas de tierra u otros materiales sueltos cuando las condiciones no permiten que estas masas asuman sus pendientes naturales, estas condiciones se presentan cuando el ancho de una excavación o corte está restringido por condiciones de área, por ejemplo suelos de diversos niveles o muy accidentados.
- Porticadas: este tipo de cimentación se caracteriza porque las uniones entre las piezas son rígidas, por lo que el nudo puede transferir flexión entre las partes. En estos casos, el elemento horizontal trabaja a flexión, al igual que un sistema adintelado que son las vigas sobre columnas, la diferencia radica en que los vínculos rígidos transmiten la deformación a los elementos verticales, los que al deformarse colaboran con el trabajo a flexión, es decir, toda la estructura absorbe energía y se altera en su totalidad.

- Con pilotes: los pilotes transmiten al terreno las cargas que reciben de la estructura mediante una combinación de rozamiento lateral o resistencia por fuste y resistencia a la penetración o resistencia por punta, ambas dependen de las características del pilote y del terreno. El pilote más antiguo es de madera y se inventó para hacer cimentaciones en zonas con suelo húmedo, con el nivel freático alto o inundadas. Eran sencillamente troncos descortezados, su capacidad se basaba en llegar a una capa del terreno suficientemente resistente. En la actualidad, se construyen con elementos prefabricados, de hormigón armado, hormigón pretensado o acero, que se fijan en el terreno mediante una máquina llamada pilotera o pilotadora, esta tiene un martinete que los golpea hasta que se llega a la profundidad especificada en el proyecto.
  
- Sobre apoyos elásticos: también conocidos como amortiguadores o aisladores de vibración, su función principal es aislar de las ondas de vibración ya sean naturales (un sismo) o de origen mecánico (vibración mecánica producida por una máquina rotativa), se clasifican en:
  - Elastómeros: mayormente fabricados de goma o caucho, son utilizados para apoyar, nivelar, alinear y aislar correctamente las máquinas. De formas variadas, desde planchas de varios milímetros de espesor, formas de tacos, tazas, entre otras, dependiendo de la carga a aislar y peso de la máquina resorte o muelle. Su función principal es el de aislar y amortiguar máquinas que producen grandes impactos, son utilizados también en soportes combinados de puentes, amortiguadores de vehículos y construcción de edificios.

### **3.3. Anclaje**

Para que una máquina trabaje normalmente y sea segura para el operador, tiene que estar debidamente anclada al cimiento.

Para pernos de anclaje se utilizan generalmente barras lisas, sin embargo, una barra de esta clase puede transformarse, en frío o en caliente, en un perno arponado. Estos pernos arponados o corrugados son útiles cuando se tienen que introducir en un orificio hecho posteriormente en el concreto que después se rellenan con lechada de cemento, el diámetro mínimo especificado para el orificio es de 7,62 cm (3 pulgadas) o 3 a 4 diámetros del perno (controla la mayor de estas dimensiones) y profundidad de 40 a 60 diámetros del perno. Se debe tener cuidado de que quede completamente embebido, pues la corrosión afecta al extremo que quede afuera, otro peligro es cuando produzcan bolsas de aire que impiden un perfecto enlechado. Conviene rellenar primeramente el orificio con lechada de cemento y después introducir el perno forzándolo hasta dejarlo en la posición correcta.

La posición de los pernos de anclaje viene especificada en el catálogo de los fabricantes de máquinas. Es recomendable que estos pernos sean colocados antes de verter el concreto para el cimiento y que tengan por lo menos 30 cm, de longitud, permitiéndosele así, un mayor grado de resiliencia.

Antes de anclar la máquina al cimiento, debe chequearse que el cimiento esté completamente nivelado, para proceder luego a la colocación y nivelación de la máquina sobre el mismo. El apoyo de la máquina sobre el cimiento se realiza a través de una placa de asiento de material elástico, una vez colocada la máquina sobre dicho asiento, se comprueba su correcta nivelación en sentido longitudinal y transversal (la nivelación se consigue colocando placas de

material elástico de espesor variable bajo la base de la máquina, en el lugar de los pernos de anclaje).

El cálculo de pernos de anclaje depende del tipo de esfuerzo al que son sometidos y tan solo servirá de chequeo para aquellos casos en que vienen ya especificados en los catálogos, sin ninguna responsabilidad por parte del calculista por fallas posteriores en dichos pernos.

- Pernos sometidos a tensión: cuando los pernos trabajan a tensión el área de la sección transversal del mismo debe de ser suficiente para mantener el esfuerzo de tensión del acero y el anclaje debe ser efectivo.

Para el anclaje de barras corrugadas de refuerzo en el concreto se han desarrollado fórmulas que permiten calcular la longitud de desarrollo. Estas barras corrugadas desarrollan las fuerzas de tensión no solamente por adherencia del acero con el concreto, sino también por el anclaje mecánicos de sus corrugaciones contra el concreto. Sin embargo, en el caso de barras lisas (son las que generalmente se utilizan como pernos de anclaje) se debe tener en cuenta que las fórmulas mencionadas no son aplicables; pues el desarrollo de las fuerzas de tensión depende exclusivamente de la adherencia entre el acero y el concreto.

Para estas barras lisas se utiliza otro tipo de anclaje mecánico que se explica a continuación:

- El tipo de anclaje más usado es el de pata en el extremo, que mejora el anclaje y evita el giro del perno. Usualmente la longitud de la pata es de 4 a 6 diámetros del perno y la longitud mínima de 40 diámetros. Es de fácil fabricación y bajo costo.

- Perno arponado, este se fabrica de barras lisas. Para el cálculo de su longitud de anclaje se puede utilizar las fórmulas de longitud de desarrollo, pueden ser de difícil adquisición y costo elevado.
- Pernos con cabeza, pueden lograrse agregando una tuerca y una arandela a la parte embebida en el concreto para resistir la tracción. El área de la arandela se calcula para resistir la carga de tensión en el perno y transmitirla al concreto por aplastamiento.
- Cuando se necesita un número par de pernos, una solución es utilizar una sola varilla doblada que garantiza buen anclaje de tensión. Otra solución es utilizar dos o más pernos, unidos mediante un canal o angular de acero. Si el canal o angular se diseña adecuadamente constituye un excelente anclaje mecánico; sin embargo, se deben tomar precauciones en la fundición para garantizar que el concreto penetre debajo del canal o angular.

El Uniform Building Code 1979 especifica que para el diseño de pernos a tensión, no se sobrepasen las fuerzas para diferente diámetro.

- Pernos sometidos a corte: cuando los pernos tienen que resistir cortes, entran en juego parámetros como el diámetro del perno, la calidad del acero, la rigidez del perno y la calidad del concreto. Un perno trabajando para resistir fuerzas horizontales en un cimiento puede fallar de dos maneras: por corte en el acero o por compresión en el concreto. Al analizar el perno trabajando a corte, se observa que interviene una fuerza horizontal  $F$  y un bloque compresivo en el concreto. Sin entrar en detalle de deducción se tiene:

$$F = \frac{f_c \cdot d \cdot L}{4}$$

Donde:

$f_c$  = esfuerzo de compresión teórico en el concreto

$d$  = diámetro del perno

$L$  = longitud del perno

Para facilitar la deducción se supusieron las siguientes condiciones ideales:

- El perno es infinitamente rígido.
- Se trabaja dentro del rango elástico de los materiales o sea los esfuerzos son proporcionales a las deformaciones.

De la fórmula anterior se puede deducir la longitud mínima adecuada para mantener el valor del esfuerzo de compresión en el concreto dentro de límites tolerables.

La suposición de rigidez infinita en el perno no es cierta, pues el perno se deformará bajo la carga y de allí que su comportamiento real sea diferente. Qué tan diferente sea su comportamiento dependerá de la relación  $L/d^4$ , llamada flexibilidad del perno. Al trabajar dentro del rango elástico, los esfuerzos serán proporcionales a las deformaciones y si el perno es rígido, la distribución de presiones no se apartará demasiado del caso ideal, por lo que la fórmula sigue siendo válida.

De resultados experimentales realizados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería con pernos de diferente diámetro, se dedujo que los que fallaron por corte en el acero son mucho más flexibles (por tanto menos rígidos) que los que fallaron por aplastamiento en el concreto. Ya que la fórmula anterior fue deducida para el caso de rigidez infinita, es aplicable solamente para pernos

que tengan una flexibilidad igual o menor que  $35^{-1}/\text{pulg}^3$ , evitándose su uso para pernos más flexibles. De acuerdo con los resultados promedios experimentales, la relación de los valores  $f_c / f'_c$  tiende a 2,5, obteniendo que la fuerza cortante última será:

$$F_u = \frac{(2,5) L' d' f'_c}{4}$$

Sin embargo, para hallar el valor de carga permisible de trabajo, se debe dividir la ecuación por un factor de seguridad apropiado; en este caso se juzgó que era razonable utilizar un factor de seguridad de 4. Empleando este valor, la ecuación que da la magnitud de la carga máxima de trabajo aplicable al perno es:

$$F \text{ (permisible)} = 0,16 f'_c L' d$$

## CONCLUSIONES

1. Se establecieron las bases para que la Escuela de Ingeniería Mecánica pueda ordenar su esfuerzo inherente a la actualización de los programas de estudio, con la visión común de alcanzar la competitividad ascendente de sus egresados en el mercado profesional.
2. Se orientaron los programas de estudio hacia la innovación tecnológica con un marco ético, investigación científica, investigación aplicada y visión de adecuar el aprendizaje a los requerimientos demandados para la acreditación de la Escuela de Ingeniería Mecánica.
3. Se dio a conocer las fortalezas y debilidades, en forma objetiva, para modificar y adecuar los programas de los cursos o áreas, para mejorar la competitividad de los cursos.



## RECOMENDACIONES

1. Que este trabajo de graduación sea tomado en cuenta para su inserción y análisis en la implementación de la readecuación curricular de la red de estudios programáticos de la Escuela de Ingeniería Mecánica, como resultado de la política de actualización curricular de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
2. Que se pueda tomar la iniciativa para optar por la actualización, no solo de dichos cursos propuestos, sino también de los demás cursos que componen la red de estudios de la carrera de Ingeniería Mecánica, para alcanzar una mejora continua de la misma.



## BIBLIOGRAFÍA

1. *Definición de herramienta.* [en línea]. < <http://definicion.de/herramienta/#ixzz3d9YvuMUt> > [Consulta: septiembre de 2015].
2. \_\_\_\_\_. [en línea]. < <http://definicion.de/herramienta/#ixzz3d9YQ9L00> > [Consulta: septiembre de 2015].
3. \_\_\_\_\_. [en línea]. <<http://definicion.de/herramienta/#ixzz3d9YCIBZU>> [Consulta: septiembre de 2015].
4. *Introducción al mantenimiento industrial y generalidades.* [en línea]. < [https://www.academia.edu/7650599/administrac%C3%93N\\_del\\_mantenimiento\\_unidad\\_1\\_introducci%C3%93N\\_al\\_mantenimiento\\_industrial\\_y\\_generalidades](https://www.academia.edu/7650599/administrac%C3%93N_del_mantenimiento_unidad_1_introducci%C3%93N_al_mantenimiento_industrial_y_generalidades) > [Consulta: septiembre de 2015].
5. *Mantenimiento industrial y generalidades.* [en línea]. <<http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/305-tipos-de-mantenimiento>> [Consulta: junio de 2015].
6. *Mantenimiento industrial.* [en línea]. < <http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/305-tipos-de-mantenimiento> > [Consulta: junio de 2015].

7. VILLANUEVA, Dounce. *Manual de la administración del mantenimiento*. México: CECSA, 2000. 143 p.
8. WHITLOW, Roy, *Fundamentos de mecánica de suelos*. 2a ed. CECSA, México, 1998. 589 p.

# ANEXOS

## Anexo 1. Identificación de campo y descripción de suelos

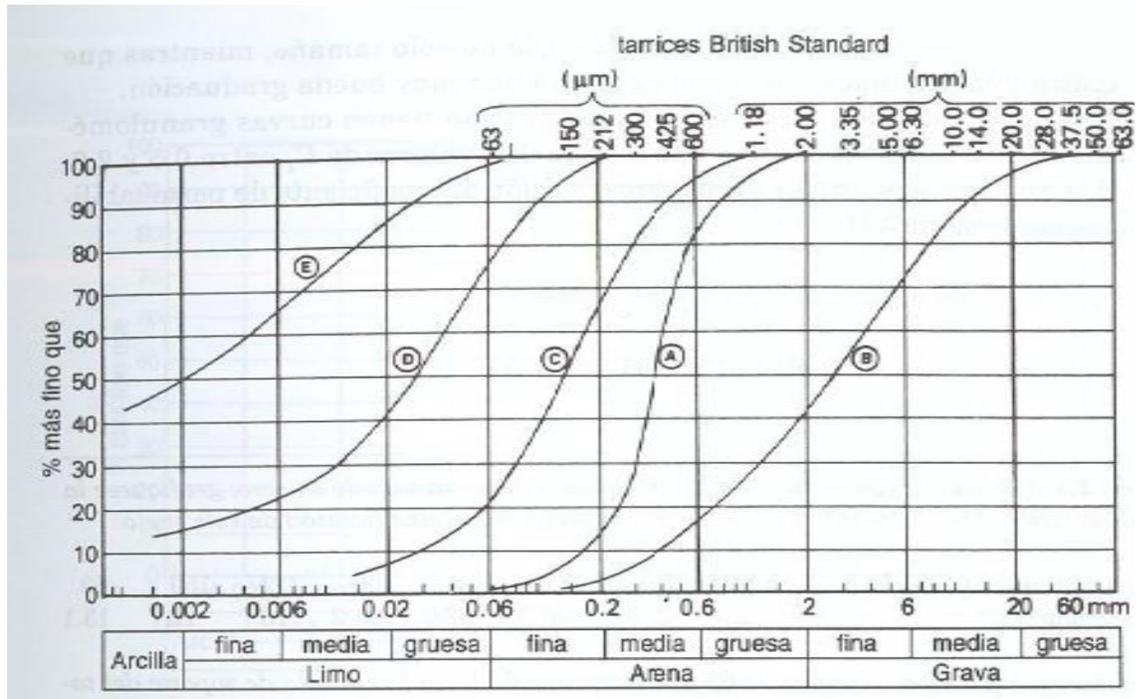
<i>Identificación de campo y descripción de los suelos</i>				
	<i>Tipo básico de suelo</i>	<i>Tamaño de partícula (mm)</i>	<i>Identificación visual</i>	<i>Naturaleza y plasticidad de las partículas</i>
Suelos muy gruesos	PEDREGONES		Sólo se aprecia en su totalidad en canteras o afloramientos de la roca	Forma de partícula
	GUIJARROS	200	Suelen ser difíciles de recuperar de los sondeos	angular subangular subredondeada redondeada plana alargada
		60	Fácilmente visible a simple vista; puede describirse la forma de la partícula; puede describirse la graduación	
		gruesas		
Suelos gruesos (Con más de 65% de grano y arena)	GRAVAS	20	Bien graduada: amplia diversidad de tamaños de grano; buena distribución. Mal graduada: graduada en forma incompleta. (Puede ser uniforme: el tamaño de la mayor parte de las partículas está en límites estrechos; o bien, graduación con intermitencias; algún tamaño intermedio está notablemente subrepresentado)	Textura: áspera tersa pulida
		intermedias		
		6		
	ARENAS	gruesas	Visible a simple vista; poca o ninguna cohesión al secar; puede describirse la graduación	
		0.6		
		intermedias		
Suelos finos (Más de 35% de arcilla y limos)	LIMOS	0.2	Bien graduada: amplia diversidad de tamaños de grano bien distribuidos. Mal graduada: no bien graduada. (Puede ser uniforme: el tamaño de la mayor parte de las partículas está en límites estrechos; o bien, graduación con intermitencias; algún tamaño intermedio está notablemente subrepresentado)	Sin plasticidad o baja plasticidad
		0.06		
		0.02		
	ARCILLAS	intermedios	A simple vista sólo se aprecia el limo grueso; presenta poca plasticidad y dilatación notable; ligeramente granular o sedoso al tacto. Se desintegra en agua; los terrones se socan con rapidez; exhibe cohesión pero puede pulverizarse fácilmente con los dedos	Plasticidad intermedia (arcilla magra)
		0.006		
		0.002		
Suelos orgánicos	ARCILLA, LIMO o ARENA ORGÁNICA	Variable	Los terrones secos pueden desmoronarse pero no pulverizarse con los dedos; también se desintegran en el agua pero con más lentitud que el limo; terso al tacto; presenta plasticidad pero sin dilatación; se adhiere a los dedos y se seca con lentitud; se contrae bastante al secar, casi siempre muestra grietas. Las arcillas de plasticidad alta o intermedia muestran estas propiedades en magnitud moderada y alta, respectivamente	Alta plasticidad (arcilla grasosa)
		Variable		
	TURBAS	Variable	Predominan los restos de plantas, casi siempre de color café oscuro o negro, por lo general de olor especial; baja densidad total	

Fuente: WHITLOW, Roy. *Fundamentos de mecánica de suelos.*

<http://es.scribd.com/doc/106254333/Basic-Soil-Mechanics-Roy-Whitlow-2001#scribd>.

Consulta: julio de 2015.

## Anexo 2. Características granulométricas 1

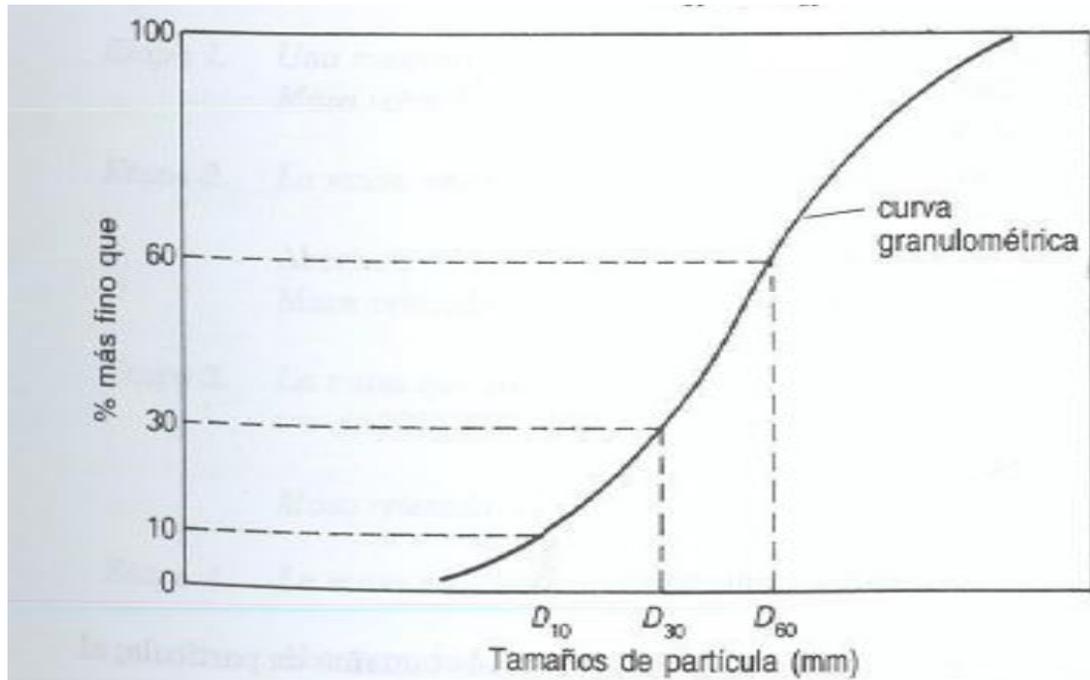


Fuente: WHITLOW, Roy. *Fundamentos de mecánica de suelos*.

<http://es.scribd.com/doc/106254333/Basic-Soil-Mechcnics-Roy-Whitlow-2001#scribd>.

Consulta: julio de 2015.

### Anexo 3. Características granulométricas 2



Fuente: WHITLOW, Roy. *Fundamentos de mecánica de suelos*.

<http://es.scribd.com/doc/106254333/Basic-Soil-Mechanics-Roy-Whitlow-2001#scribd>.

Consulta: julio de 2015.

