

## CURSO OPTIMIZACIÓN DE MANTENIMIENTO PLANEADON (PMO)

Administración de Empresas

Este material de autoestudio fue creado en el año 2007 para la asignatura Administración de Empresas del programa Ingeniería Electromecánica y ha sido autorizada su publicación por el (los) autor (es), en el Banco de Objetos Institucional de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.





# CURSO DE OPTIMIZACIÓN DE MANTENIMIENTO PLANEADO (PMO)

---

Ing. MSc. Oliverio García Palencia CMRP  
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia



Junio 28 y 29 de 2007. Bogotá.

# Agenda

Introducción

Confiabilidad Operacional

Optimización de Mantenimiento Planeado

Aplicabilidad del PMO

Estudio de Casos

Optimización Integral de Mantenimiento

Discusión Final.



# MÓDULO 1. CONFIABILIDAD OPERACIONAL

---

- ✦ Introducción a la Gestión de Activos
- ✦ Las Diez Mejores Prácticas
- ✦ Aplicaciones de la Confiabilidad
- ✦ Mejoramiento de la Confiabilidad
- ✦ Frentes de la Confiabilidad Operacional
- ✦ Confiabilidad del Talento Humano
- ✦ Confiabilidad de Diseño
- ✦ Confiabilidad de los Activos
- ✦ Confiabilidad de los Procesos
- ✦ Equipo Natural de Trabajo
- ✦ Estrategias de la Confiabilidad Operacional
- ✦ Herramientas de la Confiabilidad Operacional
- ✦ La Cultura de la Confiabilidad Operacional.

# Gestión de Activos

## Gestión de Activos (AM)

### La Confiabilidad Operacional (OR)

Mantenimiento Basado en Condición (CBM)

Mantenimiento Productivo Total (TPM)

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)

Optimización del Mantenimiento Planeado (PMO)

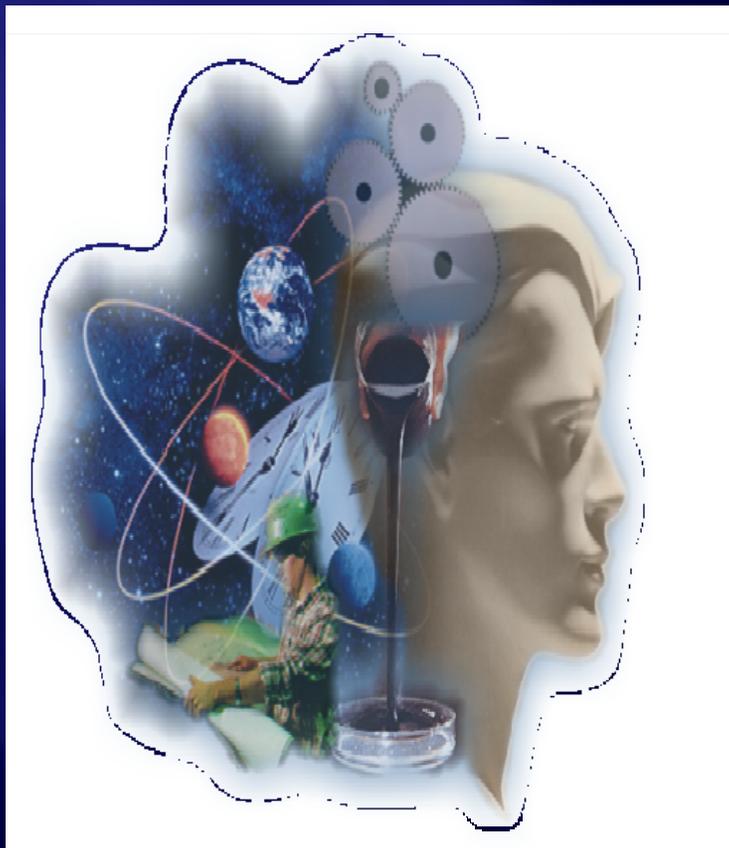
**Optimización Integral de Mantenimiento (MIO)**

# Gestión de Activos



- ✦ Las empresas gastan trillones de dólares en activos
- ✦ Pero menos del 1% en controlar su eficiencia
- ✦ Millones de transacciones son realizadas cada día
- ✦ Pero toda esta información no siempre esta alineada con los objetivos de la empresa
- ✦ Las compañías quieren extender la vida útil de sus activos
- ✦ Las Organizaciones están demandando mejores performance de sus activos.

## Que es Gestión de Activos?



El juego de disciplinas, métodos, procedimientos y herramientas para optimizar el Impacto Total de Costos, desempeño y exposición al riesgo, en la Vida del Negocio, asociado con Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad, Longevidad, Eficiencia y regulaciones de cumplimiento en seguridad y ambiente de los activos físicos de una compañía.

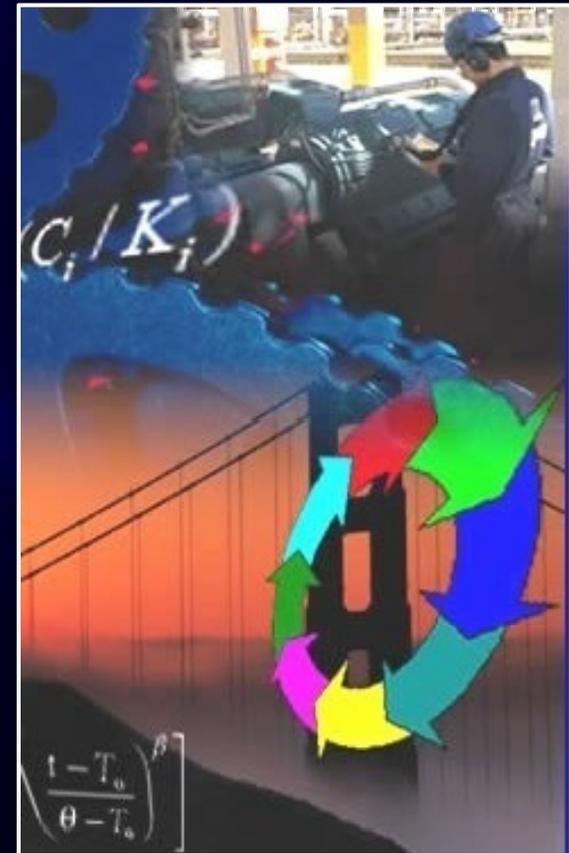
## Gestión de Mantenimiento

---

- ◆ Garantizarle al cliente interno o externo, que el parque industrial esté disponible, cuando lo requiera con confiabilidad y seguridad total, durante el tiempo necesario para operar, con las condiciones técnicas y tecnológicas exigidas previamente, para producir bienes o servicios que satisfagan necesidades, deseos o requerimientos de los compradores o usuarios, con los niveles de calidad, cantidad y tiempo solicitados, en el momento oportuno al menor costo posible y con los mayores índices de productividad y competitividad.

# Tipos de Mantenimiento

- ◆ **Mantenimiento Reactivo:**
  - ◆ Mantenimiento Reparativo
  - ◆ Mantenimiento de Emergencia
  - ◆ Mantenimiento Correctivo
  - ◆ Mantenimiento Reconstructivo.
- ◆ **Mantenimiento Proactivo:**
  - ◆ Mantenimiento Preventivo
  - ◆ Mantenimiento Predictivo
  - ◆ Mantenimiento Detectivo
  - ◆ Mantenimiento Mejorativo.



## Mantenimiento Proactivo

- ✦ Es el opuesto del sistema reactivo, en donde las operaciones de mantenimiento reaccionan a las fallas del equipo realizando las reparaciones. En la operación proactiva la prevención de las fallas se realiza a través de inspecciones y de acciones de mantenimiento preventivo y predictivo. El objetivo es por tanto anticiparse a la probabilidad de falla.



## Impacto del Mantenimiento

- ✦ **CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN**
  - ✦ Mejora de la productividad de la planta
  - ✦ Aumento de la capacidad de los equipos
- ✦ **COSTOS DE MANUFACTURA**
  - ✦ Reducción de tiempos de mantenimiento
  - ✦ Reducción de los tiempos de paradas
- ✦ **SEGURIDAD INDUSTRIAL**
  - ✦ Reducción de fallas críticas y catastróficas
  - ✦ Mayor seguridad del personal
- ✦ **SATISFACCIÓN DE LOS CLIENTES**
  - ✦ Cumplimiento de las entregas
  - ✦ Alta Calidad de los Productos.



## Responsabilidades del Mantenimiento

- ✦ El mantenimiento actual posee un rol muy destacado dentro de la *Confiabilidad Operacional* por su sólida contribución a la:
  - ✦ *Seguridad*
  - ✦ *Respeto por el Ambiente*
  - ✦ *Productividad y*
  - ✦ *Rentabilidad industrial,*
- ✦ Garantizado la más alta Disponibilidad, Confiabilidad y Mantenibilidad, a fin de asegurar su sobrevivencia.



# Diez Mejores Prácticas

- ✦ Trabajo en Equipo
- ✦ Contratistas Enfocados a la Productividad
- ✦ Integración con Proveedores
- ✦ Apoyo y Visión Gerencial
- ✦ Planificación y Programación Proactiva
- ✦ Mejoramiento Continuo
- ✦ Gestión Disciplinada de Materiales
- ✦ Integración de los Sistemas
- ✦ Gerencia de Paradas de Plantas
- ✦ Producción Basada en Confiabilidad.



## 10 Mejores Prácticas

---

### Dinámica Organizacional

- ✦ Organización basada en equipos de trabajo
- ✦ Contratistas orientados a la productividad
- ✦ Integración con proveedores de materiales y servicios
- ✦ Apoyo y Visión Gerencial.

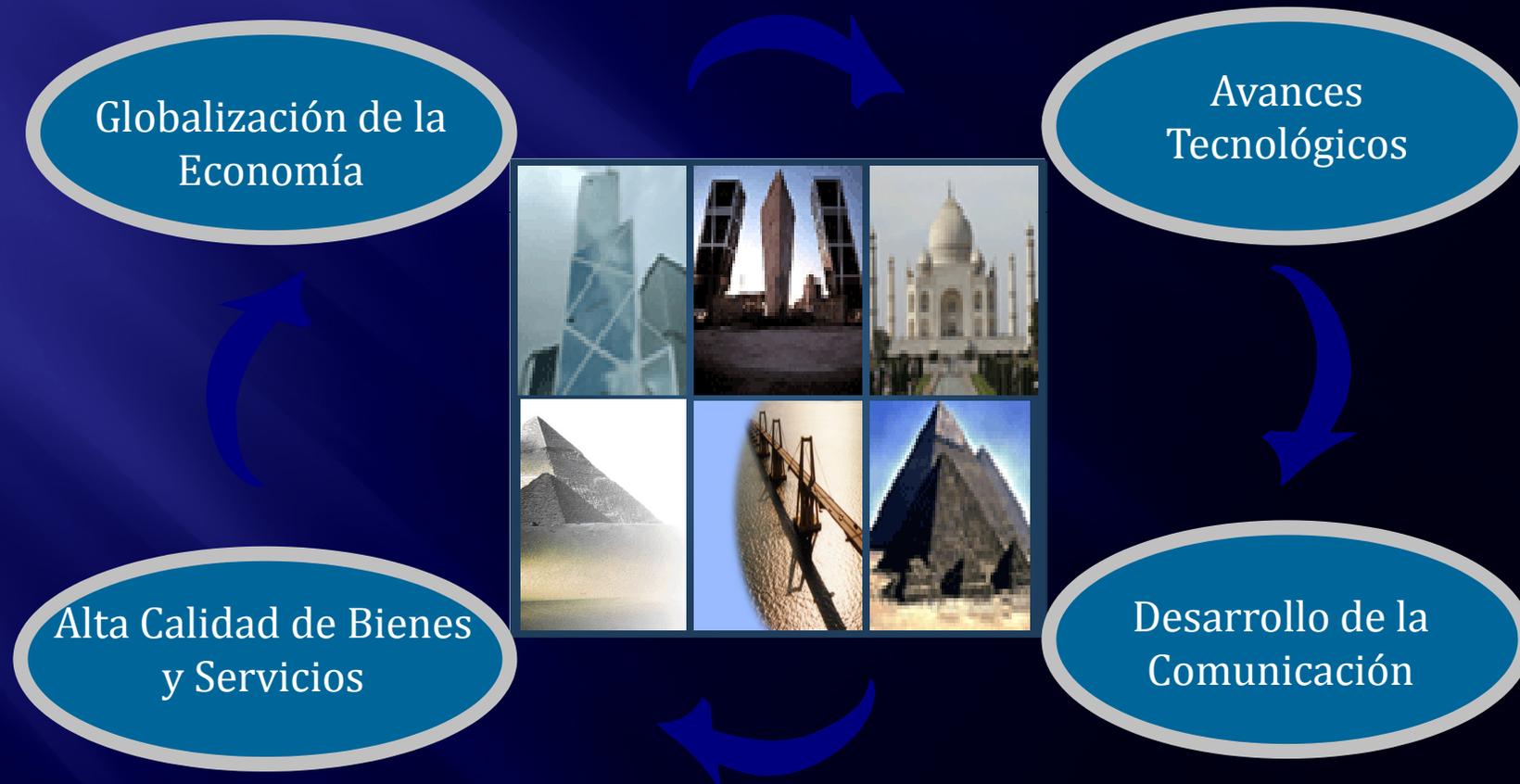
### Procesos de Trabajo

- ✦ Planificación y programación proactiva
- ✦ Mejoramiento Continuo
- ✦ Gestión disciplinada de procura de materiales
- ✦ Integración de procesos y sistemas.

### Gerencia de Activos

- ✦ Gestión de Paradas de Plantas
- ✦ Producción Basada en Confiabilidad.

# Cambio Organizacional



Fuente: Ivancevich, J.

# Proceso de Cambio

- ✦ Creer que el cambio es importante y valioso
- ✦ Tener una visión que describa el estado deseado
- ✦ Identificar las barreras reales y potenciales
- ✦ Implementar estrategias para alcanzar la visión
- ✦ Liderar el proceso con las personas aceptadas
- ✦ Medir los resultados con sistemas de evaluación
- ✦ Entrenar para corregir comportamientos no deseados
- ✦ Establecer sistemas de reconocimiento y recompensas.



# Competitividad del Mantenimiento



*Confiabilidad del Talento Humano*

## Claves de la Competitividad

- ◆ Flexibilidad y adaptación al cambio
- ◆ Liderazgo efectivo
- ◆ Ruptura de paradigmas
- ◆ Innovación
- ◆ Visión
- ◆ Estrategia.



## Estrategias del Mantenimiento Moderno

---

- ◆ Desarrollo Integral del *Talento Humano*
- ◆ Proyectar la Función del Mantenimiento para la *Productividad*
- ◆ Aplicar estrategias de *Confiabilidad Operacional*
- ◆ Fomentar el *Trabajo en Equipo*
- ◆ Establecer panoramas de *Riesgo* y de Protección del *Medio Ambiente*
- ◆ Construir una *Nueva Cultura de Confiabilidad*
- ◆ Utilizar Procesos de *Kairyō* y *Reingeniería del Mantenimiento*
- ◆ Gestionar en forma óptima la *Información del Mantenimiento*.

## Confiabilidad Operacional

- ✦ La Confiabilidad de un sistema o un equipo, es la probabilidad de que dicha entidad pueda operar durante un determinado periodo de tiempo sin pérdida de su función.
- ✦ La Confiabilidad Operacional lleva implícita la capacidad de una instalación (procesos, tecnología, gente), para cumplir su función o el propósito que se espera de ella, dentro de sus límites de diseño y bajo un específico contexto operacional.



# Confiabilidad Operacional

- Una serie de procesos de mejora continua, que incorporan en forma sistemática, avanzadas herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías, en búsqueda de optimizar la gestión, planeación y control, de la producción industrial.



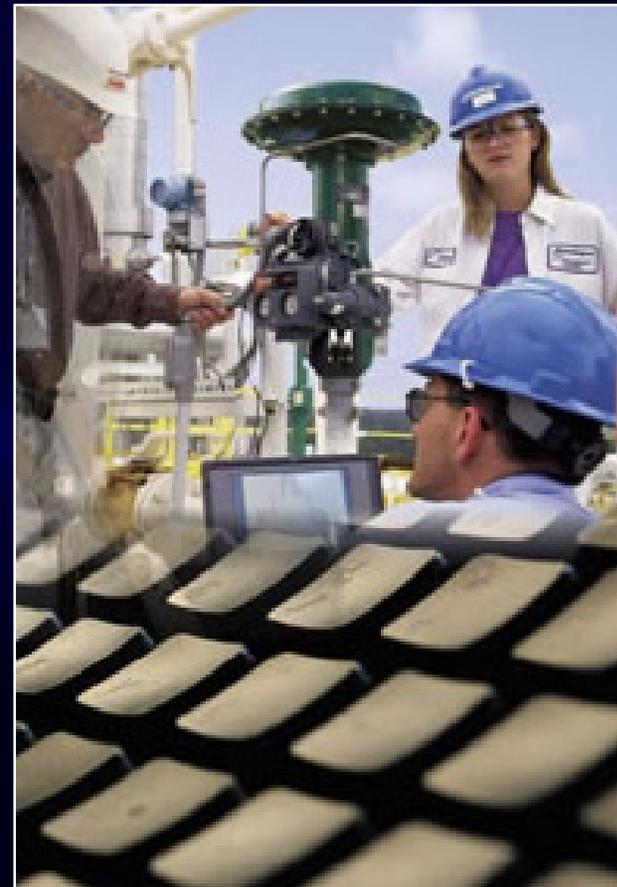
## Aplicación de la Confiabilidad

---

- ✦ Elaboración de los planes y programas de mantenimiento e inspección de equipos
- ✦ Solución de problemas recurrentes en sus Activos Físicos
- ✦ Determinación de tareas para minimizar riesgos en los procesos, equipos y medio ambiente
- ✦ Establecer el alcance y frecuencia óptima de paradas de plantas
- ✦ Establecer procedimientos operacionales y prácticas de trabajo seguro.

## Mejoramiento de la CO

- ✦ Mejorar la CO se puede conseguir mediante múltiples iniciativas
- ✦ No existe una única metodología que domine todos los aspectos de la CO
- ✦ Depende de la interacción entre los equipos, los procesos, el Talento Humano y el ambiente organizacional
- ✦ Los procesos de capacitación son la herramienta fundamental para el mejoramiento de la Confiabilidad Operacional.



## Confiabilidad Operacional

- ✦ La Confiabilidad es más que una probabilidad; es una nueva forma de ver el mundo, en realidad es una **Cultura** que debe implementarse a todos los niveles de la empresa.
- ✦ Posee cuatro frentes:
  - ✦ Confiabilidad Humana
  - ✦ Confiabilidad de Procesos
  - ✦ Confiabilidad de Equipos
  - ✦ Confiabilidad de Diseño.



## Confiabilidad de los Activos

---

- ◆ “La probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica (no falle) bajo condiciones de operación determinadas en un período de tiempo específico”.
- ◆ La confiabilidad se relaciona básicamente con la tasa de fallas (cantidad de fallas) y con el tiempo medio de operación (MTTF), tiempo de operación. Mientras el número de fallas de un determinado equipo vaya en aumento o mientras el MTBF de un equipo disminuya, la confiabilidad del mismo será menor (variable a modelar en Tiempos Operativos).

## Mantenibilidad de los Equipos

---

- ✦ La Ingeniería de Mantenibilidad es la disciplina científica que estudia la complejidad, los factores y los recursos relacionados con las actividades que se deben realizar para mantener y recuperar las funciones de un activo.
- ✦ El Análisis de Mantenibilidad es una potente herramienta, para la descripción de la capacidad de un producto de ser recuperado para el servicio, mediante la realización de tareas de mantenimiento.
- ✦ La Ingeniería de Mantenibilidad proporciona una amplia contribución a la reducción de los costos totales del mantenimiento de un producto activo durante su ciclo de vida.



## Gestión Técnica de los Procesos

- ✦ Eliminar o reducir el error humano
- ✦ Reducir el trabajo humano y sus costos
- ✦ Minimizar el consumo de energía
- ✦ Reducir el tamaño de plantas y de stocks intermedios
- ✦ Cumplir los reglamentos ambientales
- ✦ Alcanzar y mantener el resultado deseado.



## Confiabilidad Humana

---

- ✦ La *Confiabilidad del Talento Humano* se define como la probabilidad de desempeño eficiente y eficaz de las personas, en todos los procesos, sin cometer errores o fallas derivados del conocimiento y actuar humano, durante su competencia laboral, dentro de un entorno organizacional específico.
- ✦ El sistema de Confiabilidad Humana incluye varios elementos de proyección personal, que permiten optimizar los conocimientos, habilidades y destrezas de los miembros de una organización con la finalidad de generar “*Capital Humano*”.

# Capital Humano

- El Capital Humano es el incremento en la capacidad de producción alcanzado mediante el desarrollo de las competencias de los trabajadores de la empresa. Está formado por el conocimiento y el ingenio que hacen parte de las personas, su salud mental y la calidad de sus hábitos de trabajo. Estas capacidades realzadas se adquieren con dedicación, formación, entrenamiento y experiencia. También es común señalar al capital humano como indispensable para la competitividad de las economías modernas ya que su productividad se basa en la generación, difusión y utilización del conocimiento.



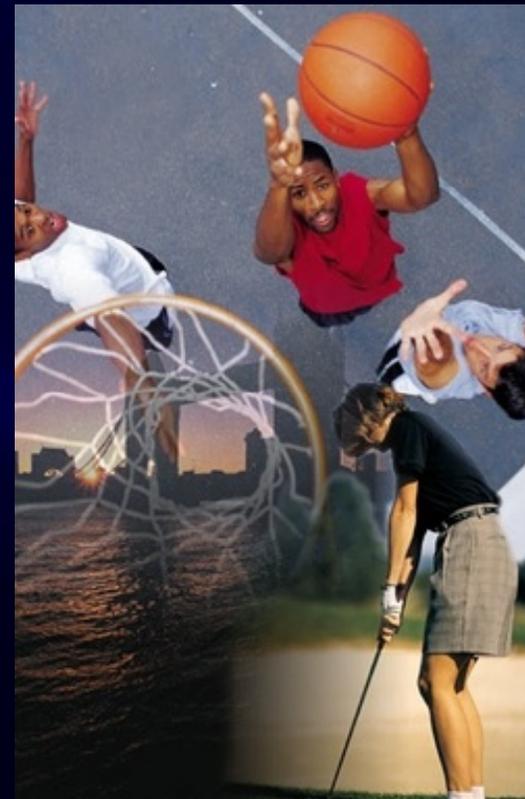
## Confiabilidad Basada en Talento

- ✦ El mejoramiento de la Confiabilidad Humana se puede lograr mediante la integración de estrategias que incluyan una adecuada gestión del conocimiento, la consolidación de los equipos naturales de trabajo, aplicación de modelos de competencias y la creación de comunidades del conocimiento para desarrollo del mantenimiento, gestionando convenientemente su desempeño, con el fin de asegurar su competitividad, su efectividad y poder preservar el conocimiento de la organización.



## Equipo Natural de Trabajo

- ✦ Conjunto de personas de diferentes funciones dentro de la organización que trabajan juntas por un período de tiempo determinado en un clima de potenciación de energía, para analizar problemas comunes de los departamentos, apuntando al logro de un objetivo común.



## Estrategias Modernas de Mantenimiento

---

- ◆ Mantenimiento Preventivo Planeado (PPM)
- ◆ Mantenimiento Basado en Condición (CBM)
- ◆ Mantenimiento Productivo Total (TPM)
- ◆ Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)
- ◆ Optimización de Mantenimiento Preventivo (PMO)
- ◆ Mantenimiento Basado en el Negocio (BBM)
- ◆ Prevención de Mantenimiento (MP)
- ◆ Modelos Mixtos de Confiabilidad (RMM)
- ◆ Optimización Integral de Mantenimiento (MIO).

## Herramientas de Confiabilidad

---

- ◆ La confiabilidad como metodología de análisis debe soportarse en una serie de herramientas que permitan evaluar el comportamiento del componente de una forma sistemática a fin de poder determinar el nivel de operabilidad, la magnitud del riesgo y las acciones de mitigación y de mantenimiento que requiere el mismo para asegurar al dueño del activo su integridad y continuidad operacional.
- ◆ El empleo de las herramientas de confiabilidad permite detectar la condición más probable en cuanto al comportamiento de un activo, ello a su vez proporciona un marco referencial para la toma de decisiones que van a direccionar la formulación de planes estratégicos.

## Httpas. de la Confiabilidad Operacional

---

- ✦ Análisis de Criticidad (CA)
- ✦ Análisis de los Modos y Efectos de Falla (FMEA)
- ✦ Análisis Causa Raíz (RCA)
- ✦ Análisis de Confiabilidad Humana (HRA)
- ✦ Inspección Basada en Riesgo (RBI)
- ✦ Optimización Costo – Riesgo – Beneficio (BRCO)
- ✦ Failure Reporting and Corrective Action System (FRACAS)
- ✦ Reliability Analysis and Modeling Program (RAMP)
- ✦ Reliability Block Diagram Modeling (RBD)
- ✦ Costo del Ciclo de Vida (LCC)
- ✦ Gestión del Conocimiento (KM).



# Herramientas Fundamentales de la CO



## Cultura de la Confiabilidad

---

- ✦ La Ingeniería de la Confiabilidad se destaca como el marco teórico en el cual conviven las metodologías y técnicas necesarias para la optimización del uso de los activos fijos de las organizaciones.
- ✦ La Cultura es creada cuando todos los empleados de una organización comparten las mismas creencias y valores.
- ✦ La Cultura de la Confiabilidad no es algo que se logra solamente con atención a los activos físicos, también se necesita atención a los activos corporativos.
- ✦ Líderes, trabajando en equipo y elementos propios del clima organizacional, también merecen su lugar en esta cultura.

## Gestionar Cultura requiere:

- Apoyo de la Alta Dirección
- Alto nivel de Compromiso
- Disponer de recursos materiales
- Disponer de personal capacitado
- Capacidad para analizar proyectos
- Análisis y Control de Costos
- Satisfacer requerimientos
- Medir resultados.



## Cultura de la Confiabilidad

◆ La Cultura de la Confiabilidad  
lleva implícito:

- ◆ Enfoque Sistémico
- ◆ Proacción Humana
- ◆ Prioridad

Basados en la Visión y la Misión  
de la empresa.



# Cultura de la Confiabilidad

## El Enfoque Sistémico

Basado en la Misión de la empresa, pero básicamente en su Visión, como la imagen guía hacia donde se debe encaminar los esfuerzos continuos y permanentes del trabajo en equipo.



# Cultura de la Confiabilidad



## La Proacción

- Toda actividad de mejora, que prevenga las fallas humanas, de los equipos y de los procesos, y atenúe las consecuencias de fallas imprevistas.
- La Proacción Humana debe inculcar paradigmas productivos, que imponen día a día diferentes formas de hacer las cosas.

## Cultura de la Confiabilidad

### El Análisis de Prioridades

- ✦ Le otorga al Enfoque Sistémico y a la Proacción Humana su verdadera dirección y apoyo. Estos tres componentes son de vital importancia si se quiere lograr excelentes resultados, mediante la implementación de procesos de Confiabilidad Operacional.



## Gestión del Talento Humano

---

- ✦ Es indispensable una gestión eficaz del Talento Humano mediante el empleo de modelos de competencias, la dirección por valores, el entrenamiento (Coaching), empoderamiento (Empowerment), el trabajo en grupo (Groupware y Wokflow) y la inteligencia emocional, porque se requiere que cada una de las personas se comprometa e involucre en la misión de la empresa. Capturar y aprovechar las nuevas potencialidades en beneficio de la organización, permite convertir capital intelectual en capital financiero, lo cual constituye un nuevo paradigma organizacional.

## Política de Confiabilidad Humana

- ◆ Determinar las brechas y proporcionar la Capacitación Mínima.



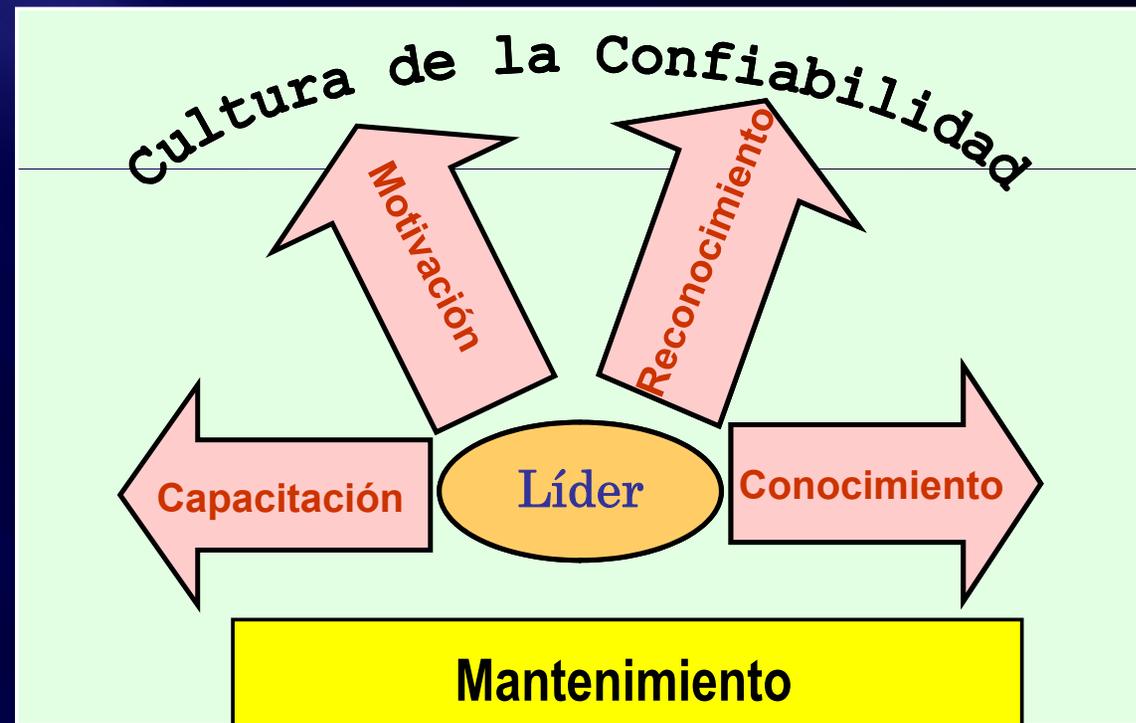
- ◆ Establecer las responsabilidades y desarrollar los medios para darle vigencia.



- ◆ Establecer las recompensas o Formas de Reconocimiento para aquellos individuos que demuestren nuevos comportamientos.



## Política para Crear Cultura



## Política de Motivación

Todo plan de incentivos bien concebido debe tener presente las necesidades de la empresa los trabajadores y el público.

- ✦ La empresa desea la más alta producción posible, siempre acorde con una buena calidad, seguridad del trabajador y una gestión adecuada de sus activos fijos.
- ✦ Los trabajadores desean que se evalúe con acierto su desempeño, que el incentivo que se les brinde sea atractivo con una cobertura razonablemente amplia, y que lo puedan entender con facilidad.
- ✦ El público por su parte, desea un producto de máxima calidad, a precio razonable y que satisfaga sus expectativas.

## Rentabilidad Basada en Confiabilidad

---

- ✦ Identificar las variables financieras de mayor impacto en la rentabilidad
- ✦ Identificar oportunidades específicas de mejora de confiabilidad
- ✦ Definir las mejoras de confiabilidad que generan ventajas competitivas
- ✦ Unir las ventajas competitivas de confiabilidad y rentabilidad
- ✦ Integrar las mejoras de confiabilidad deseadas
- ✦ Retro-alimentar los resultados de los proyectos de mejora de la rentabilidad (PDR).

## Mejoras Potenciales

PRODUCCIÓN	10- 12%	
DISPONIBILIDAD	10-15%	
HORAS HOMBRE	35-40%	
COSTOS DE MANTENIMIENTO	23-30%	
COSTOS DE PRODUCCIÓN	12-16%	
SEGURIDAD	80%	
RETRABAJO	20-40%	
INVENTARIOS	10-30%	
PARADAS IMPREVISTAS	50-55%	



---

*“Para trabajar en otra cultura  
se deben efectuar ajustes en la propia,  
tal que permita adaptar las prestaciones a  
las características del cliente”*



---

*“La Confiabilidad Operacional engrana todos los elementos de vanguardia para que las empresas produzcan con excelencia y generen el máximo valor”.*

R. Huerta

## MÓDULO 2. EL SISTEMA PMO

---

- ✦ Que es Optimización de Mantenimiento Planeado
- ✦ Ciclo del Mantenimiento Reactivo
- ✦ Fundamentos del PMO
- ✦ Etapas de Implementación del PMO
- ✦ Índices Básicos de Gestión
- ✦ El Análisis de Confiabilidad
- ✦ Aplicación de la Estadística
- ✦ Uso de la Distribución Weibull
- ✦ Frecuencia Óptima de Mantenimiento
- ✦ Optimización de la Programación de PM
- ✦ Optimización de los Costos de PM
- ✦ Estudio de un Caso de Éxito.

## Optimización de Mantenimiento Preventivo

---

- ◆ El sistema de Optimización de Mantenimiento Planeado (PMO) es un método diseñado para revisar los requerimientos de mantenimiento, el historial de fallas y la información técnica de los activos en operación..
- ◆ La PMO facilita el diseño de un marco formal de trabajo racional y rentable, basado en Confiabilidad, cuando un sistema de PM está consolidado y la planta se encuentra bajo control.

## Ciclo del Mantenimiento Reactivo



Adaptado de Steve Turner 2000

## Problemas de los programas de PM

---

- ✦ Existen tareas duplicadas.
- ✦ Algunas tareas se hacen muy frecuentemente y otras muy tarde.
- ✦ Algunas tareas no generan beneficios.
- ✦ Algunas tareas son intrusivas o basadas en overhauls, cuando deberían ser basadas en condición.
- ✦ Se presentan muchas fallas que son costosas y fácilmente prevenibles.

## El Sistema PMO

---

- ✦ Analiza el programa de mantenimiento anterior
- ✦ Realiza los Análisis de Funcionalidad
- ✦ Genera una base de datos de los modos de falla
- ✦ Escoge el método más eficaz de mantenimiento
- ✦ Se basa en la experiencia del personal de planta
- ✦ Usa el diagrama de decisiones del RCM
- ✦ Reconoce la importancia de las funciones del activo
- ✦ Diseña de un marco de trabajo racional y rentable
- ✦ Establece la adecuada asignación de recursos.

## En el Sistema PMO:

---

- ✦ Se reconocen y resuelven los problemas con la información exacta
- ✦ Se logra un efectivo uso de los recursos
- ✦ Se mejora la productividad de los operarios y del personal de mantenimiento
- ✦ Se adapta a las situaciones y a los objetivos específicos de cada cliente
- ✦ La optimización del PM motiva al personal.



## Mejora los Procesos de Mantenimiento

---

- ✦ Elimina todas las tareas de mantenimiento sin propósito o que no sean costo efectivas.
- ✦ Elimina todos los esfuerzos duplicados en que diferentes grupos ejecutan igual PM sobre el mismo equipo.
- ✦ Dirige la filosofía de mantenimiento al Mantenimiento Basado en Condición (CBM)
- ✦ Agrega tareas de mantenimiento orientadas a prevenir los Modo de Falla, que históricamente han derivado en fallas, con criterio económico.
- ✦ Distribuye la carga de trabajo hacia los operadores y toda la organización.

## Beneficios Reales del Sistema

- ✦ Determinar el comportamiento de fallas de los equipos
- ✦ Estimar el efecto del PM en la Confiabilidad
- ✦ Utilizar adecuadamente todos los recursos disponibles
- ✦ Eliminar fallas y paradas imprevistas
- ✦ Incrementar la Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Efectividad Global de los equipos.



## Implementación del Sistema PMO

---

Paso 1: Establecimiento de las funciones y tareas

Paso 2: Análisis de los Modos de Falla (FMA)

Paso 3: Racionalización y revisión del FMA

Paso 4: Análisis Funcional (Opcional)

Paso 5: Evaluación de las consecuencias

Paso 6: Determinación de las Políticas de Mantenimiento

Paso 7: Agrupación y Revisión de Procesos

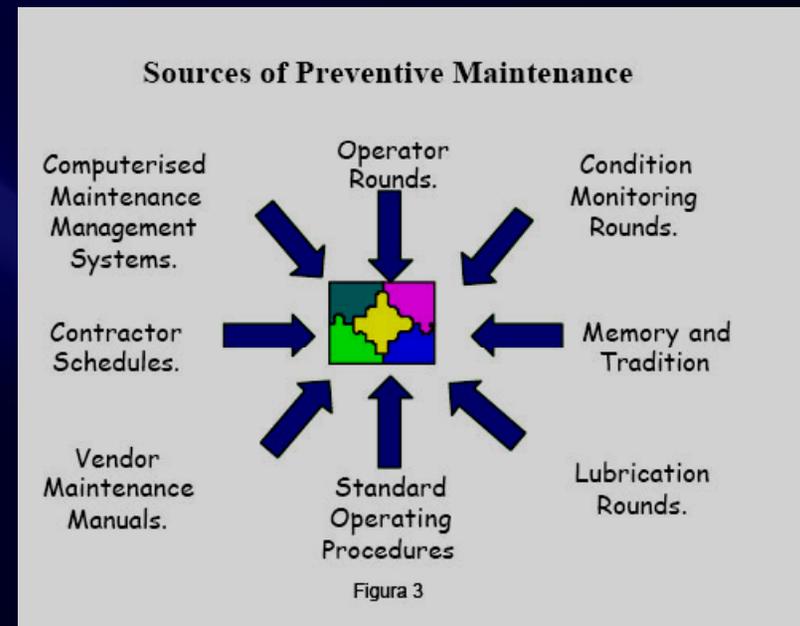
Paso 8: Implementación y aprobación de los programas

Paso 9: Programa dinámico y mejoramiento continuo.

Steve Turner 2000.

## PASO 1 – Recopilación de Tareas

- ✦ EL PMO inicia documentando el programa de mantenimiento y subiéndolo a una base de datos.
- ✦ El mantenimiento lo realiza un grupo amplio de personas, incluyendo los operadores.
- ✦ En la mayoría de organizaciones el PM se hace por iniciativa propia de los técnicos y no existe documentación formal; cuando esta situación se presenta se debe documentar lo que el personal ya ha estado haciendo.



Steve Turner 2004

## PASO 2 – Análisis de Modos de Falla (FMA)

En el Paso 2 se debe involucrar a todo el personal de la planta, se trabajará en equipos multidisciplinarios quienes se encargaran de identificar para qué modos de falla están enfocadas las tareas de mantenimiento.

Tarea	Frecuencia	Responsable	Falla
Tarea 1	Diario	Operador	Falla A
Tarea 2	Diario	Operador	Falla B
Tarea 3	6 meses	Instalador	Falla C
Tarea 4	6 meses	Instalador	Falla A
Tarea 5	Anual	Electricista	Falla B
Tarea 6	Semanal	Operador	Falla C

Tabla 2. Ilustración Paso 2

## PASO 3 – Racionalización y Revisión del FMA

Ordenando la información por Modos de Falla hace más fácil la identificación de duplicación de tareas. La duplicación de tareas se presenta cuando al mismo Modo de Falla se le aplican varias rutinas de PM por parte de las diferentes especialidades, por parte de los operadores y por parte de los especialistas de monitoreo.

Tarea	Responsable	Falla
Tarea 1	Operador	Falla A
Tarea 4	Instalador	Falla A
Tarea 7	Mecánico	Falla A
Tarea 2	Operador	Falla B
Tarea 5	Electricista	Falla B
Tarea 3	Instalador	Falla C
Tarea 6	Operador	Falla C
		Falla D

Tabla 3. Ilustración Paso 3

## PASO 4 – Análisis Funcional

La función que se pierde con cada falla se puede determinar en este Paso. Este Paso es opcional y se justifica en caso de que se deban realizar análisis a equipos bastante críticos o muy complejos, en donde es esencial el entendimiento detallado de todas las funciones del equipo para el aseguramiento de un programa de mantenimiento sólido.

Tarea	Responsable	Falla	Función
Tarea 1	Operador	Falla A	Función 1
Tarea 4	Instalador	Falla A	
Tarea 7	Mecánico	Falla A	
Tarea 2	Operador	Falla B	Función 1
Tarea 5	Electricista	Falla B	
Tarea 3	Instalador	Falla C	Función 2
Tarea 6	Operador	Falla C	
		Falla D	Función 1

Tabla 4. Ilustración Paso 4

Steve Turner 2004

## PASO 5 – Evaluación de Consecuencias

En este Paso cada modo de falla es analizado para determinar si las fallas son ocultas o evidentes. Para aquellas fallas evidentes se realiza un análisis de riesgos y consecuencias operacionales.

Tarea	Responsable	Falla	Función	Consecuencia
Tarea 1	Operador	Falla A	Función 1	Operacional
Tarea 4	Instalador	Falla A		
Tarea 7	Mecánico	Falla A		
Tarea 2	Operador	Falla B	Función 1	Operacional
Tarea 5	Electricista	Falla B		
Tarea 3	Instalador	Falla C	Función 2	Oculto
Tarea 6	Operador	Falla C		
		Falla D	Función 1	Operacional

Tabla 5. Ilustración Paso 5

## PASO 6 – Definición de las Políticas

- ✦ Que tareas serían más efectivas y menos costosas si fueran basadas en condición.
- ✦ Que tareas no aportan beneficios y deben ser eliminadas.
- ✦ Que tareas serían más efectivas si se realizaran bajo diferentes rutinas.
- ✦ Que fallas se manejarían mejor por medio del uso de tecnología.
- ✦ Que tipo de información se debe recolectar para predecir mejor el comportamiento del equipo.
- ✦ Que fallas se deben eliminar con la ayuda de un Análisis de Causa Raíz (RCA).

Falla	Función	Consecuencia	Política	Rutina
Falla A	Función 1	Operacional	Inspección	Diaria
Falla A				
Falla A				
Falla B	Función 1	Operacional	No PM	
Falla B				
Falla C	Función 2	Oculto	Pruebas	Anual
Falla C				
Falla D	Función 1	Operacional	Inspección	Semanal

Tabla 6. Ilustra Paso 6

Steve Turner 2004

## PASO 7 – Agrupación y Revisión

---

Una vez el análisis de las tareas haya finalizado, el equipo de trabajo establece el método mas eficiente y efectivo para administrar el mantenimiento de los activos teniendo en cuenta limitantes de producción y otros. En este paso es posible que haya transferencia de responsabilidades en la ejecución de las tareas de PM entre los especialistas de mantenimiento y los operadores para lograr eficiencia y ganancias en producción.

## PASO 8 – Aprobación e Implementación

---

- ✦ En este Paso, el resultado del análisis se presenta a la alta dirección para su revisión y comentarios. El equipo de trabajo realiza la presentación usando el reporte automático generado por el software de PMO2000, dicho software muestra de forma detallada los cambios a implementar y su justificación.
- ✦ Una vez se ha aprobado el programa, inicia la etapa más importante de PMO2000, su implementación. La implementación es la etapa que consume más tiempo y en que se pueden presentar más dificultades. Es importante ejercer liderazgo y estar atento a los detalles para hacer de la implementación un éxito.
- ✦ Las dificultades en la implementación se incrementan considerablemente en organizaciones que cuentan con muchos turnos y en aquellas organizaciones conservadoras.

## PASO 9 – Programa Dinámico

---

Durante este paso, varios de los procesos vitales de la Gestión de los Activos pueden afinarse mientras la rata de mejoramiento se acelera. Estos procesos son:

- ✿ Estrategia de Producción y Mantenimiento.
- ✿ Medición de Desempeño.
- ✿ Reportes y Eliminación de Fallas.
- ✿ Planeación y Programación.
- ✿ Gestión de Inventarios.
- ✿ Workshops y Prácticas de Mantenimiento.

## Implementando un Programa Exitoso

---

- ✦ Vendiendo Mantenimiento como un Proceso no como un Departamento.
- ✦ Se deben escoger proyectos que no se enfocan sólo en un aspecto.
- ✦ Recolección de información del antes y el después.
- ✦ Crear equipos multifuncionales desde el taller.
- ✦ Integración de los sistemas de administración de información de operaciones y Mantenimiento
- ✦ Implementar los resultados lo más pronto posible.
- ✦ Estructuras disfuncionales de la organización.

## Análisis de PMO2000

---

1. Qué tareas de mantenimiento se llevan a cabo por parte del personal de mantenimiento y operaciones (recopilación de tareas)?
2. Cuáles son los modos de falla asociados a una inspección de la planta (análisis de modos de falla)?
3. Qué funciones se perderían si cada modo de falla se presentara de forma inesperada (funciones)? [Pregunta opcional]
4. Qué pasa cuando ocurre cada falla (efectos de falla)?
5. En que forma afecta cada falla (consecuencia de falla)?
6. Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla (tareas proactivas y sus intervalos)?
7. Qué se debe hacer si una tarea proactiva no previene la falla (acciones por omisión)?

## PMO es Altamente Efectivo

---

- ✦ Cuando los equipos tienen numerosos modos de falla pero donde la gran mayoría de estos suceden al azar, son instantáneos o no tienen consecuencias altas. Un ejemplo simple es el teléfono celular, los celulares tienen cientos de funciones, definir las puede tomar hasta un día, dependiendo de la rigurosidad del equipo de trabajo.
- ✦ Otro punto es que RCM requeriría del aporte de los especialistas en electrónica para definir apropiadamente los modos de falla, mientras PMO sólo necesita de los operadores. PMO no tomaría más de 20 minutos en completar todo el análisis y determinar que el único mantenimiento requerido es el que tiene que ver con las consecuencias por el desgaste de la batería.

## Beneficios Positivos PMO

---

- ✦ Los recursos para la realización de análisis generalmente son los más escasos en las organizaciones. PMO permitirá al equipo de trabajo cubrir el área de análisis seis veces más rápido con el recurso asignado, lo cual se reflejará en un menor impacto en la operación y las actividades del día a día de la planta. PMO permitirá que la organización se dedique más a la implementación que al análisis.
- ✦ El análisis de mantenimiento como muchas otras inversiones esta sujeto a rendimientos decrecientes, por ello el uso de RCM resulta inconveniente, ya que su costo sólo permite un análisis limitado a las áreas cuello de botella de la planta. Debido a que PMO es mucho más económico que RCM, se pueden analizar muchos más equipos en la planta, incluyendo aquellos que representan ganancias pequeñas pero no insignificantes.
- ✦ En aquellas áreas en donde los modos de falla representan consecuencias de seguridad y al medio ambiente, el uso de PMO permitirá que estos se manejen mucho más rápido que usando RCM.

## Debilidades de PMO

---

La única debilidad válida de PMO comparado con RCM, para una planta que ya está en operación es que PMO no lista absolutamente todos los modos de falla. Esto puede ser muy importante desde la perspectiva del manejo de inventarios, sin embargo sí el objetivo y la motivación de la realización de un análisis de mantenimiento es el de generar un plan de mantenimiento efectivo y con enfoque claro, esta debilidad es irrelevante.

## Resultados de las Políticas

---

- ◆ Actividades del programa que son o no rentables
- ◆ Tareas más eficaces y menos costosas basadas en condiciones
- ◆ Tareas que deben ser quitadas del programa
- ◆ Tareas más eficaces si se cambian sus frecuencias
- ◆ Datos necesarios para predecir el LCC
- ◆ Defectos que pueden ser eliminados mediante Análisis Causa Raíz (RCA).

## Sistema PMO Exitoso

---

El éxito radica en adaptar un Modelo de Confiabilidad de acuerdo con la realidad de cada organización. Las mejores prácticas plantean que se deben optimizar los planes de mantenimiento basados en estudio de la Confiabilidad, para minimizar las fallas imprevistas de los procesos productivos y reducir al máximo el reemplazo y nueva inversión en equipos; lo cual se traduce en disminución de los costos de producción con el correspondiente aumento de la competitividad de la empresa.

## Indicadores de Clase Mundial

---

Los objetivos y tareas que se propone una organización deben concretarse en expresiones medibles, que sirvan para expresar cuantitativamente dichos objetivos y tareas, y son los "Indicadores" los encargados de esa concreción.

### ¿Qué son los indicadores?

El término "Indicador" en el lenguaje común, se refiere a datos esencialmente cuantitativos, que nos permiten darnos cuenta de cómo se encuentran las cosas en relación con algún aspecto de la realidad que nos interesa conocer. Los Indicadores pueden ser medidas, números, hechos, opiniones o percepciones que señalen condiciones o situaciones específicas.

<http://www.monografias.com/trabajos15/valoracion/valoracion.shtml#top>

## Indicadores Técnicos

- ✦ Disponibilidad (A)
- ✦ Mantenibilidad (M)
- ✦ Confiabilidad (R)
- ✦ Efectividad Global (OEE)
- ✦ Tiempo promedio entre fallas (MTBF)
- ✦ Tiempo promedio para fallar (MTTF)
- ✦ Tiempo promedio para reparar (MTTR)
- ✦ Utilización (U)
- ✦ Back log (B)
- ✦ Desviaciones de planificación
- ✦ Índice de rechazos/unidades reparadas
- ✦ Cumplimiento de Programas
- ✦ Costos por tipo de Mantenimiento
- ✦ Planeación órdenes de trabajo ...



## Indicadores Financieros

- ◆ Valor Económico Agregado (EVA)
- ◆ Retorno Sobre la Inversión (ROI)
- ◆ Rotación de Activos (RA)
- ◆ Retorno Sobre Capital Empleado (ROCE)
- ◆ Tasa Interna de Retorno (TIR)
- ◆ Valor Presente Neto (VAN).



## Parámetros de Mantenimiento

- ◆ Confiabilidad,  $R(t)$
- ◆ Probabilidad de Falla,  $F(t)$
- ◆ Índice de Falla,  $\lambda(t)$
- ◆ Mantenibilidad,  $M(t)$
- ◆ Disponibilidad,  $D(t)$
- ◆ Efectividad global, (OEE)
- ◆ Tiempo Promedio Entre Fallas, (MTBF)
- ◆ Tiempo Medio Para Reparar, (MTTR).



## Índices de Gestión Básicos

¿De qué forma se puede verificar si la Gestión de Mantenimiento esta cumpliendo con sus objetivos?

Evaluando los resultados obtenidos de los cuatro indicadores básicos:

- ✦ Confiabilidad  $R(t)$
- ✦ Disponibilidad  $A(t)$
- ✦ Mantenibilidad  $M(t)$
- ✦ Efectividad Global (OEE).



## El Análisis Estadístico de Confiabilidad

---

### Permite:

- ◆ Diseñar las políticas de mantenimiento a utilizar en el futuro
- ◆ Determinar las frecuencias óptimas de ejecución del mantenimiento preventivo
- ◆ Optimizar el uso los recursos físicos y del talento humano
- ◆ Calcular intervalos óptimos de sustitución económica de equipos
- ◆ Minimizar los costos del departamento.

## Confiabilidad de los Equipos

---

- ✦ “La probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica (no falle) bajo condiciones de operación determinadas en un período de tiempo específico”.
- ✦ La confiabilidad se relaciona básicamente con la tasa de fallas (cantidad de fallas) y con el tiempo medio entre fallas (MTBF). Mientras el número de fallas de un determinado equipo vaya en aumento o mientras el MTBF de un equipo disminuya, la confiabilidad del mismo será menor (variable a modelar en tiempos operativos).

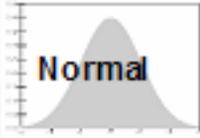
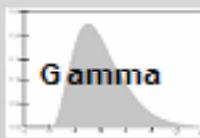
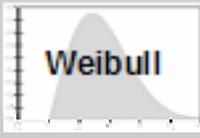
## Distribución de Probabilidad

- Las distribuciones paramétricas de probabilidad son funciones matemáticas teóricas, que describen la forma en que se espera que varíen los resultados de un análisis de Confiabilidad.
- Debido a que las distribuciones tratan de explicar la expectativa de que algo suceda, resultan ser modelos útiles para hacer inferencias y para tomar decisiones en condiciones de incertidumbre.

### *Distribuciones para Variables Aleatorias Continuas:*

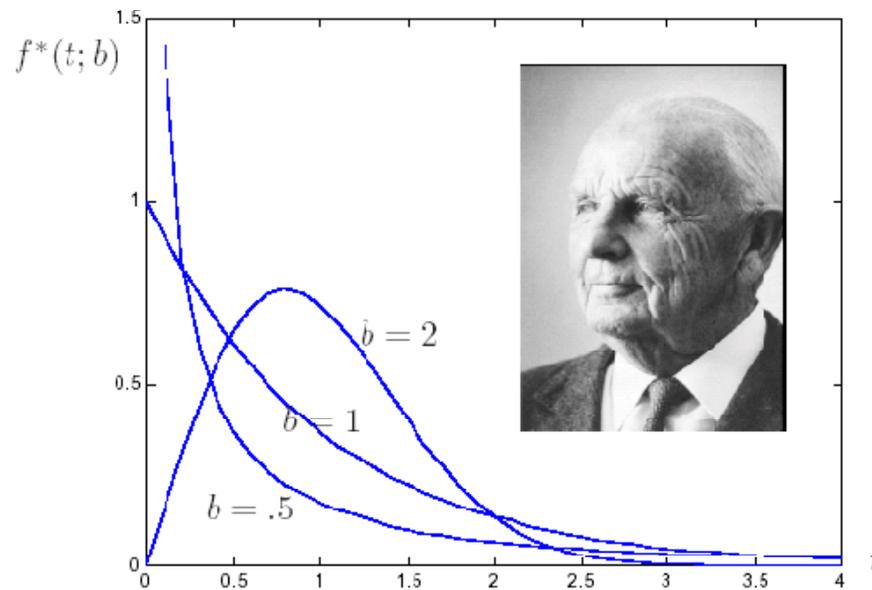
- Distribución Normal, **Distribución Log normal**, **Distribución Exponencial**, **Distribución Weibull**, Distribución Beta, Distribución Gamma, Distribución Triangular, Distribución Uniforme, etc.

## Distribuciones Estadísticas

Nombre	Función de densidad	Distribución	Parámetros
 <p>Normal</p>	$f(t) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{\sigma^2}}$	$F(t) = \int f(t) dt$	<p><math>\mu</math> = Media  <math>\sigma</math> = Desviación E estándar</p>
 <p>Lognormal</p>	$f(t) = \frac{1}{\sigma' \cdot t \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(t)-\mu')^2}{\sigma'^2}}$	$F(t) = \int f(t) dt$	<p><math>\mu'</math> = Media de <math>\ln(t)</math>  <math>\sigma'</math> = Desviación E estándar del <math>\ln(t)</math></p>
 <p>Exponencial</p>	$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t}$	$F(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t}$	<p><math>\lambda</math> = Inverso del promedio</p>
 <p>Gamma</p>	$f(t) = \frac{1}{\beta \cdot \Gamma(\alpha)} \cdot \left[\frac{t}{\beta}\right]^{\alpha-1} \cdot e^{-\frac{t}{\beta}}$	$F(t) = \int f(t) dt$	<p><math>\alpha</math> = Parámetro de forma  <math>\beta</math> = Parámetro de escala</p>
 <p>Weibull</p>	$f(t) = \frac{\beta \cdot t^{\beta-1}}{\eta^\beta} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$	<p><math>\beta</math> = Parámetro de forma  <math>\eta</math> = Parámetro de escala</p>

# Distribución Weibull

*Las distribuciones de Weibull.*



Densidades de las distribuciones de Weibull típicas con  $b = .5, 1, 2$ .

## Índices Usados para calcular Confiabilidad

- ✦ Función de Probabilidad de Falla acumulada:

$$F(t) = \int f(t) dt$$

Determina la probabilidad de falla para un tiempo (t)

- ✦ Función de Confiabilidad R(t)

$$R(t) = 1 - F(t)$$

Determina la probabilidad de que el activo no falle en un tiempo (t)

- ✦ Media  $E(t) = \text{MTTF}$ , es el valor medio esperado

Expresa la tendencia central de la distribución

- ✦ Función de Frecuencia de Fallas h(t)

$$h(t) = f(t) / R(t)$$

Determina las fallas por unidad de tiempo.

## Conclusiones

---

- ◆ El PMO se basa en la experiencia y el conocimiento técnico del personal, esto crea un alto grado de responsabilidad y pertenencia.
- ◆ La toma de decisiones claves, por parte de los responsables del mantenimiento, debe estar soportada por técnicas de Análisis de Confiabilidad.
- ◆ La fuerza fundamental del PMO se basa en que las acciones de mantenimiento tienen valor agregado, y que el sistema genera mejoras en muchos otros aspectos de la gestión de activos de la empresa, aparte de los Análisis de Confiabilidad.
- ◆ El PMO es uno de los pilares para implementar Ingeniería de Confiabilidad efectiva, y para la adecuada solución de problemas y eliminación de defectos.



---

*A menudo digo que cuando puedes medir aquello de lo que estás hablando y expresarlo en números sabes algo sobre ello; pero cuando no puedes medirlo, cuando no puedes expresarlo en números, tu conocimiento es de un tipo pobre e insatisfactorio.*

***William Thompson, Lord Kelvin (1891)***



---

*Cuando la velocidad de cambio en el exterior supera la velocidad de cambio en el interior, el fin está a la vista.*

*Jack Welch.*

## MÓDULO 3. APLICACIÓN DEL PMO

---

- ◆ Herramientas de Implementación del PMO
- ◆ Tutorial de Steve Turner
- ◆ Factores Críticos de Éxito
- ◆ Software para Cálculo de Indicadores
- ◆ Uso de la Distribución Weibull
- ◆ Cálculo de la Frecuencia Óptima de Mantenimiento
- ◆ Programa Óptimo de Mantenimiento Preventivo
- ◆ Cálculo de los Costos Proyectados de PM
- ◆ Gerencia Basada en Conocimiento de la Confiabilidad
- ◆ Análisis y discusión de Casos Propuestos.

## La Distribución de Weibull

- ✿ El comportamiento histórico de las fallas de los equipos se puede describir estadísticamente por medio de la Distribución de Weibull.
- ✿ La ecuación característica de la Función de Distribución de fallas es:

$$F(t) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{t - T_0}{\eta} \right)^\beta \right]$$

Donde  $\beta$ ,  $\eta$  y  $T_0$ , son valores constantes mayores que cero.

## Función de Confiabilidad

Para obtener la Confiabilidad  $R(t)$  se observa que:

$$R(t) = 1 - F(t)$$

$$R(t) = \exp \left[ - \left( \frac{t - T_0}{\eta} \right)^\beta \right]$$

Los parámetros son:

$\beta$  [Beta] = parámetro de forma o geométrico ( $\beta > 0$ )

$\eta$  [Eta] = parámetro de escala o valor característico ( $\eta \geq T_0$ )

$T_0$  = parámetro de localización, es el valor garantizado de  $t$  ( $T_0 \geq 0$ ).

## Densidad de Probabilidad

La densidad de probabilidad de falla viene dada por:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{dR(t)}{dt}$$

Y teniendo en cuenta que :  $\eta = \theta - T_0$

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t - T_0}{\eta} \right)^{\beta-1} \exp \left[ - \left( \frac{t - T_0}{\eta} \right)^{\beta} \right]$$

## Mantenimiento Programado

- El costo del mantenimiento programado  $C_s(t)$  en un tiempo dado  $t_0$  se expresa como:

$$C_s(t) = t_0 \sum_{i=1}^n (C_i / t_i)$$

Donde el  $t_i$  es el término  $i$  del tiempo medio para falla, y el  $C_i$  es el término  $i$  de la acción de mantenimiento.

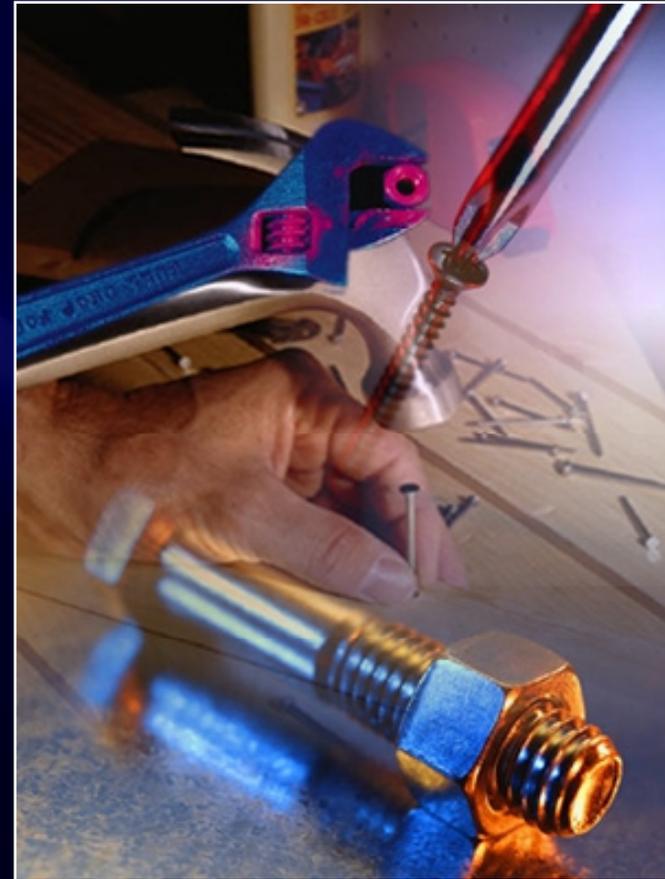


## Mantenimiento no Programado

- El costo de mantenimiento no programado  $C_u(t)$  se estima por:

$$C_u(t) = t / t_0 \sum_{i=1}^n (f_i C_i)$$

Donde el  $f_i$  es el término  $i$  del periodo de acción de mantenimiento no programado durante el tiempo  $t_0$ .



## Ciclo de Mantenimiento Óptimo

- El costo total de mantenimiento  $C_m(t)$  asociando los dos tipos de costos puede determinarse por:

$$C_m(t) = C_s(t) + c_u(t)$$

- El problema es minimizar  $C_m(t)$  para calcular el ciclo de mantenimiento óptimo  $t^*$ .

$$t^* = t_0 (C_s / C_u)^{0.5}$$

## Determinación de los Parámetros

---

- ✦ Parámetros a Calcular:  $\beta$ ,  $\eta$  y  $T_0$
- ✦ Método Gráfico Aproximado (Shigley)
- ✦ Método Analítico (Ecuaciones Logarítmicas)
- ✦ Métodos Estadísticos (Regresión múltiple),  
usando software especializado:
  - Weibull 6 ++
  - Weibull Super Smith
  - Statgrafics.

## El Análisis de Confiabilidad

- ✦ Para muestras pequeñas la Confiabilidad en el tiempo  $i$  de falla para un tamaño de muestra  $n$  es:

$$R(t_i) = (n - i + 0.7) / (n + 0.4)$$

- ✦ Para muestras grandes si el número de unidades que sobreviven al tiempo  $t$  es  $N(t)$  y el número total es  $N$ :

$$R(t) = N(t) / N.$$

## Optimización del Mantenimiento

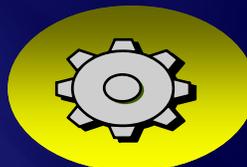
- ✦ El objetivo es estimar los intervalos óptimos de mantenimiento, para aumentar la productividad del equipo y minimizar los costos totales de mantenimiento.
- ✦ El análisis de costos determina el nivel óptimo de mantenimiento necesario para el funcionamiento económico de los equipos.



## Implementación del Modelo (1)



Desarrollar un procedimiento detallado de planeación de tareas tipo RCM.



Determinar y analizar con la metodología PMO, los principales modos de falla.



Implementar procesos racionales para determinar la Confiabilidad de los equipos.



Evaluar las consecuencias de las fallas y la influencia del Mantenimiento Preventivo.