

**UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA
FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO**


Nº DE RADICACIÓN: _____

INFORMACIÓN EJECUTORES

Ejecutor 1

Nombre (s):	Leonardo	
Apellido (s):	Hernández moreno	
Código:	20162375072	
E-mail:	leonardohm14@hotmail.com	
Teléfono fijo:		
Celular:	3115658587	

Ejecutor 2

Nombre (s):	Michael Andrés	
Apellido (s):	Orjuela Rojas	
Código:	20162375074	
E-mail:	michael_orjuela@hotmail.com	
Teléfono fijo:	3097882	
Celular:	3204638515	

INFORMACIÓN DEL PROYECTO

Título del Proyecto:	ESTUDIO DE CARACTERIZACION DE LAS AREAS DE MANTENIMIENTO EN EMPRESAS DEL SECTOR METALMECANICO DE BOGOTA Y SUS ALREDEDORES	
Duración (estimada):	3 meses	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	<input checked="" type="checkbox"/>
	Prestación y Servicios Tecnológicos	<input type="checkbox"/>
	Otro	<input type="checkbox"/>
Modalidad del Trabajo de Grado:	Monografía	
Línea de Investigación de la Facultad*:	2. Optimización de procesos industriales. 3. Desarrollo tecnológico local e institucional	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	6. Educación y comunicación en ciencia y tecnología	
Grupo de Investigación:		
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	Aseguramiento metrológico, control de calidad, seguridad industrial, mantenimiento.	

INFORMACIÓN PASANTÍA

Nombre de la empresa:	
Dirección:	
Teléfonos:	
Correo electrónico:	
Página Web:	

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Director: (Vo. Bo.)	
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)	
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)	

**ESTUDIO DE CARACTERIZACION DE LAS AREAS DE MANTENIMIENTO EN
EMPRESAS DEL SECTOR METALMECANICO DE BOGOTA Y SUS
ALREDEDORES**

MICHAEL ANDRÉS ORJUELA ROJAS 20162375074

LEONARDO HERNANDEZ MORENO 20162375072

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD TECNOLÓGICA

INGENIERIA MECÁNICA

BOGOTÁ

2017

**ESTUDIO DE CARACTERIZACION DE LAS AREAS DE MANTENIMIENTO EN
EMPRESAS DEL SECTOR METALMECANICO DE BOGOTA Y SUS
ALREDEDORES**

MICHAEL ANDRÉS ORJUELA ROJAS 20162375074

LEONARDO HERNANDEZ MORENO 20162375072

TRABAJO PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO MECÁNICO

PRESENTADO A:

PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERIA MECÁNICA

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD TECNOLÓGICA

BOGOTÁ

2017

TABLA DE CONTENIDO

1	RESUMEN.....	6
2	INTRODUCCION.....	7
3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
4	ESTADO DEL ARTE.....	9
5	JUSTIFICACION.....	10
6	OBJETIVOS	11
6.1	OBJETIVO GENERAL.....	11
6.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
7	MARCO TEORICO	12
7.1	HERRAMIENTAS PARA DIAGNÓSTICOS EN MANTENIMIENTO.	12
7.2	TIPOS DE ENCUESTAS	12
7.3	TIPOS DE MANTENIMIENTO	13
7.3.1	Mantenimiento correctivo.....	14
7.3.2	Mantenimiento preventivo.....	14
7.3.3	Mantenimiento predictivo.....	14
7.3.4	Mantenimiento autónomo o en uso.....	15
7.4	ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO	17
7.4.1	Total productive maintenance o TPM.....	17
7.4.2	Reliability centered maintenance o RCM	19
7.4.3	Análisis de criticidad.	22
7.5	COSTOS ASOCIADOS A LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO.....	24
8	METODOLOGIA.....	25
8.1	RESULTADOS ESPERADOS	25
9	ASPECTOS DE LA ADMINISTRACIÓN Y EL CONTROL.....	26
9.1	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	26
10	PRESUPUESTO DE LA INVESTIGACIÓN	27
10.1	PRESUPUESTO.....	28
11	BIBLIOGRAFIA	29

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Seguimiento de fallas registradas de una pieza.	15
Ilustración 2. Evolución de los tipos de mantenimiento.	17
Ilustración 3. Historia del mantenimiento.....	21
Ilustración 4. Modelo de análisis de criticidad.	22

ESTUDIO DE CARACTERIZACION DE LAS AREAS DE MANTENIMIENTO EN EMPRESAS DEL SECTOR METALMECANICO DE BOGOTA Y SUS ALREDEDORES

1 RESUMEN

El mantenimiento industrial es una actividad humana que garantiza la existencia de un servicio dentro de una calidad esperada; y básicamente en el sector de metalmecánico se divide en mantenimiento preventivo o correctivo; preventivo, si los trabajos se ejecutan para evitar que se pierda la calidad de servicio y correctivo si los trabajos son necesarios porque dicha calidad del servicio ya se perdió. Basándonos en este contexto, la finalidad de este proyecto que será realizado como mínimo con cincuenta (50) empresas de la ciudad de Bogotá (Colombia) y sus alrededores, para determinar los diferentes tipos de mantenimiento aplicados en las empresas relacionadas con el sector económico de la metalmecánica. El estudio enfoca su análisis en los resultados de una encuesta realizada a las personas encargadas del área de mantenimiento en dichas empresas, para lo cual se debe recopilar la información y clasificarla según los diferentes temas de interés, desarrollando una base de datos que ayudara a establecer el tipo de mantenimiento industrial aplicado en dichas empresas objeto de estudio y así contribuir como punto de partida al mejoramiento de los procesos e investigación en el tema.

En primer lugar, hay que hacer notar que en nuestro país y enfocándonos en la ciudad de Bogotá, la formación universitaria en el campo del mantenimiento es escaso, por no decir testimonial. Y la formación en planta se ha visto relegada a cursos y seminarios basados tan sólo en los aspectos técnicos (hidráulica, Neumática, mecánica,...) obviando la formación de las áreas de gestión de mantenimiento y la de formación de Jefes o responsables de Mantenimiento.

A efectos de comprender el estado del mantenimiento industrial en el sector metalmecánico en la ciudad de Bogotá y sus alrededores, y definirlo a las organizaciones de mantenimiento, se hace oportuno revisar la situación del mantenimiento industrial en nuestro país, desde la óptica y los resultados de estudios formalizados como este.

2 INTRODUCCION

La encuesta Anual Manufacturera generada por el DANE en el 2015 indicó que las micro, pequeñas y medianas empresas en Colombia representan el 73,9.4% del total de los establecimientos del país y generan el 77,3% del empleo, lo que muestra la importancia que tienen estas empresas para el desarrollo económico y social no solo del país sino de toda la región Latinoamericana.

En Colombia las actividades de estas empresas se concentran en su mayoría en el aprovechamiento de los recursos naturales y se desenvuelven principalmente en sectores como el textil, el de cuero y calzado, el de alimentos, el metalúrgico y metalmecánico, entre otros. Sin embargo, y mencionada ya su alta importancia en el país, algunas de estas empresas necesitan atención y ayuda para fortalecer sus procesos administrativos, estratégicos y operacionales que les permitan no solo sostenerse en el mercado colombiano sino avanzar hacia los mercados extranjeros con productos de alta calidad y reconocimiento regional.

Para este trabajo en específico se escogió trabajar con el sector de la metalmecánica ya que según el DANE (2015) el total de estas empresas representan el 15,7% del total de la industria colombiana y particularmente en Bogotá y en su área de influencia se encuentran alrededor de 5025 empresas reunidas en los tres eslabones que caracterizan la cadena metalmecánica de acuerdo con la Cámara de Comercio de Bogotá (2015); las empresas pertenecientes a esta cadena productiva se concentran en el eslabón de transformación donde hay registradas 3482 firmas. Estas empresas de transformación se clasifican de acuerdo con el uso que se le da al producto: 761 empresas se dedican a la transformación de producto para uso automotor; 896 para maquinaria y 686 empresas son empresas de productos que le dan diferentes usos al material. La composición empresarial de esta cadena es como sigue: 78,5% por microempresas, 16,4% son pequeñas, 4,1% medianas y tan sólo el 1,1% son empresas grandes.

Con un conocimiento previo sobre la situación de este sector, se identificó una oportunidad de trabajar con un proceso bastante importante dentro de la planeación estratégica y operacional, y caracterizar las áreas de mantenimiento en distintas empresas en el área de metalmecánica, ya que de este depende que las máquinas estén funcionando correctamente y no se presenten paradas de producción o accidentes que repercuten directamente no solo en las utilidades de la empresa sino también en su reconocimiento dentro del sector.

En este contexto, con el estudio realizado se obtuvo un análisis de la información, la cual entregó un panorama general de cómo se está llevando a cabo el mantenimiento industrial en las diferentes empresas relacionadas con el sector metalmecánico de Bogotá y municipios aledaños, independientemente del rango en el que se encuentren y del tipo de tecnología que utilicen, buscando unificar conceptos que ayuden a los responsables de mantenimiento a identificar sus actividades, seleccionar y distinguir las diferentes configuraciones de mantenimiento existentes.

Para el estudio, elaboración y posterior validación de los resultados se trabajó de la mano con varias empresas del sector y con profesores de la universidad distrital francisco José de caldas, buscando siempre alcanzar los resultados esperados por ellos, entre los que se encontraban un manejo más eficiente de la información de los equipos productivos de las empresas y encontrar una manera fácil y económica de ayudarles en la planeación y ejecución del mantenimiento.

3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente las micro y pequeñas empresas del sector metalmecánico no manejan un plan de mantenimiento estructurado o aplican de manera empírica mantenimiento correctivo a sus máquinas, decisiones apresuradas que se ven reflejadas en paradas de producción, baja calidad de las reparaciones, productos defectuosos, re-procesos, tiempos altos de reparaciones, altos costos de producción y finalmente en la baja utilidad neta de su actividad en general.

Se considera que todas estas situaciones se presentan porque dichas empresas cuentan con procesos administrativos y estratégicos muy bien enfocados hacia la producción y hacia la participación en el mercado, pero en ese afán por vender y crecer económicamente suelen olvidarse del adecuado manejo y seguimiento de muchos otros procesos, como el del control de la calidad, el correcto desarrollo de sus indicadores empresariales y el control del buen funcionamiento de su proceso productivo.

Un problema que en repetidas ocasiones atenta contra el buen desempeño de las características antes mencionadas es el mantenimiento de los equipos productivos y la tendencia corporativa hacia el tan conocido comportamiento “apaga incendios”, el cual se podría erradicar, o al menos disminuir en gran medida, si las empresas tuvieran a su alcance una herramienta que les permitan no solo almacenar información relevante sobre sus máquinas sino también planear el mantenimiento de estas con base en la información diaria de producción y algunas mediciones, como la temperatura o las vibraciones de cada equipo.

Como ingenieros mecánicos se identificó una oportunidad para recopilar información en cuanto a cómo las empresas del sector metalmecánico llevan a cabo la gestión de sus activos y como la falta de un proceso de mantenimiento efectivo puede perjudicar de manera crítica el desarrollo de su cadena productiva, y para este último aspecto, el cual se ve influenciado directamente por el buen uso y mantenimiento de todos los recursos con los que cuenta la empresa para desarrollar su actividad económica, en especial los equipos productivos o máquinas. En la universidad distrital francisco José de caldas ya se han desarrollado proyectos de grado en los que se ha buscado aportar alguna información a esta área y con base en estos resultados se ha decidido realizar una herramienta de planeación de mantenimiento que no requiere el uso de sistemas de información complejos o ERP's, sino que utiliza los recursos tecnológicos y humanos ya existentes en las empresas y de esta manera permite una mejor utilización de los equipos productivos y evita situaciones no deseadas como las paradas de producción y altos costos inesperados por un mantenimiento correctivo de emergencia.

4 ESTADO DEL ARTE

Cuando este proyecto inició, la única información que se pudo encontrar sobre el tema en la Universidad ICESI fue la de un proyecto realizado en 2005 llamado **“DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA PARA DIAGNÓSTICO DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO (DGM) DE EQUIPOS PRODUCTIVOS PARA LAS MICRO Y PEQUEÑAS EMPRESAS DE LA CIUDAD DE CALI Y SU ÁREA DE INFLUENCIA”**¹ del que se pudo extraer datos interesantes acerca de la situación de algunas micro y pequeñas empresas de Cali. Sin embargo, la información estaba enfocada únicamente a indagar sobre las características acerca del mantenimiento y no sobre planes de acción a desarrollar de acuerdo a los resultados obtenidos, por lo que se buscó información en otros lugares y se logró encontrar proyectos de grado relacionados con el tema de mantenimiento en otras universidades,

“DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA DE DIAGNÓSTICO PARA EMPRESAS PYMES INDUSTRIALES Y DE SERVICIOS: ENFOQUE BASADO EN LOS SISTEMAS DE ADMINISTRACIÓN PARA LA CALIDAD TOTAL.”² Esta propuesta tiene como objetivo la construcción de un modelo de diagnóstico organizacional aplicable al escenario de las Pymes Argentinas, con la capacidad de generar resultados que permitan identificar las claves para un adecuado plan de intervención organizacional. El prototipo desarrollado partió del análisis de los modelos de diagnóstico enfocados en los principios de la administración para la calidad total, del estudio del escenario de las pymes Argentinas y de los resultados de investigaciones previas sobre las características comunes de aquellas firmas que demostraron un elevado posicionamiento competitivo. Además, esta propuesta pretende corregir algunas de las dificultades halladas en la aplicación de los modelos de los premios de la Calidad o normas internacionales para el diagnóstico, y se encontró otra fuente relacionada con el tema siendo este un artículo llamado.

“CARACTERIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL EN ALGUNAS EMPRESAS DE MANIZALES Y MUNICIPIOS ALEDAÑOS”³ artículo que muestra un estudio enfocado al análisis de resultados de una encuesta realizada a las personas encargadas del área de mantenimiento en dichas empresas, para lo cual se recopiló la información y se clasificó según los diferentes temas de interés, desarrollando una base de datos que ayudó a establecer el tipo de mantenimiento industrial aplicado en las empresas objeto de estudio y así contribuir al mejoramiento del proceso.

En cuanto a estudios realizados por el gobierno y por los sectores de la industria, se encontró un informe del Departamento Nacional de Planeación (DNP) sobre la Agenda Interna para la Productividad y la Competitividad. Este es un documento sectorial de metalmecánica y siderurgia publicado en Agosto de 2007 en la Ciudad de Bogotá, Colombia, en el que se habla sobre la cadena productiva de los sectores de la siderurgia y de la metalmecánica en el país, caracterizando cada proceso y nombrando las ventajas, desventajas y opciones de mejora que propone el estado para dichos sectores de la economía colombiana. Algo interesante que se destaca del documento es que se menciona que ambos sectores “han buscado eliminar su

¹ **Londoño, J.** (2007). *Desarrollo de una herramienta de diagnóstico en sistemas de información para pequeñas y medianas empresas de la ciudad de Cali.* Cali, 2007, Trabajo de Grado (Ingeniero Industrial). Universidad Icesi.

² **Braidot Néstor, Formeto H. y Nicolini J.** (2003). *Desarrollo de una Metodología de Diagnóstico para Empresas Pymes Industriales y de Servicios: Enfoque basado en los sistemas de administración para la Calidad Total.*

³ **Ovalle Mauricio, Ospina Diana.** (2010). *caracterización del mantenimiento industrial en algunas empresas de manizales y municipios aledaños.* manizales, 2010. articulo. universidad autónoma de manizales,

tradición importadora e incrementar la producción, orientándola hacia los mercados internacionales”, pero el problema radica en que los obstáculos de consecución de materias primas y de apoyo financiero para operar son muy grandes y por tanto no se tienen estructuras de procesos y procedimientos fuertes o competitivas a nivel interno, lo que dificulta la penetración en nuevos mercados.

5 JUSTIFICACION

Con este proyecto se buscó continuar con la labor antes ya hecha por otros estudiantes de la universidad quienes solo se enfocaron en el análisis y diagnóstico de las empresas en cuanto a su gestión de mantenimiento. Con la consolidación de una base de datos de empresas del sector metalmecánico en la ciudad de Bogotá y sus alrededores se logró ir un paso más adelante y proponer un métodos de caracterización según la planeación de mantenimiento en las empresas con el análisis de resultados que arrojará este estudio se puede aprovechar mejor el conocimiento obtenido para que dichas empresas de este sector mejoren su capacidad instalada y su mano de obra, buscando siempre el mejoramiento de indicadores como el de la productividad y el incremento de ventas, entre otros.

Por otro lado, en este proyecto se logró aplicar una gran cantidad de conceptos aprendidos durante la carrera y utilizar herramientas de obtención y análisis de datos que permitieron que todo el desarrollo del trabajo se basara en información real de las empresas de la ciudad. También se vio como un reto trabajar con el tema del mantenimiento pues este casi no fue explorado durante la carrera y poder poner en práctica lo aprendido sobre programación en Excel.

Este proyecto se definió en 2 partes: la primera se realizó durante el periodo comprendido entre noviembre de 2017 y enero de 2018 en la que se recolectó toda la información necesaria para desarrollar el análisis de la información en Excel, la cual se diseñó y elaboró durante el periodo comprendido entre los meses de febrero y marzo de 2018. Es importante resaltar que el proyecto se enfocó en el micro, pequeñas y medianas empresas del sector metalmecánico sin importar que tipo de procesos fabricación posean, pues fue en estas empresas donde se recolectó toda la información y en las que se validó tipo de gestión que llevan a cabo para el desarrollo del mantenimiento

Por otro lado este fue un proyecto de diagnóstico e industrial aplicado donde se buscó desarrollar, a través de una investigación descriptiva, una herramienta de gestión de mantenimiento con base en información recolectada de las empresas del área de influencia del proyecto. Finalmente este es un trabajo de gran importancia para el sector de influencia, ya que logra reunir varios aspectos importantes de las empresas que muchas veces se dejan por fuera de la gestión administrativa.

6 OBJETIVOS

6.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un estudio de caracterización de las áreas de mantenimiento en empresas del sector metalmecánico

6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Consolidar base de datos de empresas del sector metalmecánico
- Generar instrumentos de caracterización para ser aplicados.
- Aplicar instrumentos de caracterización en empresas del sector metalmecánico.
- Analizar resultados, presentación del informe diagnóstico y socialización

7 MARCO TEORICO

7.1 HERRAMIENTAS PARA DIAGNÓSTICOS EN MANTENIMIENTO.

A continuación se abordarán algunas herramientas para hacer el diagnóstico de la gestión de mantenimiento en la mayoría de las empresas sin importar su tamaño o estructura. Cada empresa evaluará cual herramienta es la que mejor se adecua a su organización y que está a su vez genere un mayor impacto en la situación a resolver con el fin de conformar un sistema adecuado.

- Pronósticos: Evalúan el comportamiento historio de la demanda y proyecta los valores máximos a producir junto con sus tiempo de duración. Con esta información se facilita las decisiones estratégicas de la compañía, como la planeación de mantenimiento.
- Benchmarking: “es una herramienta que permite hacer estudios comparativos en áreas o sectores de empresas con el fin de mejorar su funcionamiento dentro de la organización”.
- QFD “Despliegue de la función de calidad” (o QFD, por sus siglas en inglés) es un método y diseño de productos y servicios que recoge las demandas y expectativas de los clientes y las traduce en pasos sucesivos, a características técnicas y operativas satisfactorias”.
- DOFA (Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas): Esta herramienta permite entender y tomar decisiones en cualquier área de la compañía, debido a que analiza la información interna y externa que afecta la empresa.
- Americana (Metodología del radar): Por medio de un cuestionario realizado por el auditor, se buscará observar cuales son las falencias más relevantes dentro de la empresa. Una vez se hace la encuesta se grafican los resultados en una gráfica radar.
- Inglés: (Desarrollo de un cuestionario): Teniendo en cuenta la misma metodología americana al momento de recolectar información, se graficará los resultados en un gráfico de Pareto, en donde se analizará cuáles son las áreas que mayor falencia tiene o generan impacto en el problema a resolver

7.2 TIPOS DE ENCUESTAS

Para la recolección de información y para la realización del diagnóstico de las empresas, se necesitará hacer una encuesta y saber cuáles son los tipos de encuestas que existen.

“La encuesta es un método de la investigación de mercados que sirve para obtener información específica de una muestra de la población mediante el uso de cuestionarios estructurados que se utilizan para obtener datos precisos de las personas encuestadas. En la actualidad, existen al menos cuatro tipos de encuesta que permiten obtener información primaria, por lo que es imprescindible que investigadores de mercados y mercadologías”.

- Encuesta basada en entrevistas cara a cara o de profundidad: Estas entrevistas se hacen directamente con los encuestados. Tienen la ventaja que puede ser guiada o controlada por el encuestador, además se suele obtener mayor información que otros medio. Algunas desventajas es que tiene un alto costo de implementación, toma mayor tiempo en realizar las encuestas y se pueden presentar sesgos en las respuestas
- Encuestas telefónicas: Este tipo de encuestas se hacen vía telefónica. Las ventajas que tiene implementar esta encuesta es que se puede realizar a una gran cantidad de personas en comparación con la entrevista personal, bajos costos de implementación, pero las desventajas de estas encuestas es que tienen que ser cortas y se tiene menor información.
- Encuestas por postales: Consiste en realizar un cuestionario y enviarlo a los encuestados vía correo postal o correo electrónico con el fin que los encuestados lo llenen y lo reenvíen al correo de origen. Las ventajas son: bajos costos de implementación, mayor número de encuestados.
- Encuestas por internet: Tiene mayor aceptación entre los entrevistadores porque consiste en realizar un cuestionario en una página web y enviar a todos los contactos a los que se desea realizar la encuesta. Las ventajas que este tipo de encuesta tiene: bajos costos de implementación (son menores a las encuestas personales, telefónicas y postales), amplia cobertura de encuestados. La desventaja de usar esta encuesta es que no se tiene ninguna información de la persona que respondió la encuesta.

7.3 TIPOS DE MANTENIMIENTO

La palabra mantenimiento está definida por el diccionario de la Real Academia Española RAE como: “Conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, edificios e industrias, entre otras cosas, puedan seguir funcionando adecuadamente”. Pero la verdad es que las funciones de los encargados del mantenimiento van mucho más allá de esta definición y se ha encontrado que existen tres características importantes a las que le apuntan las actividades de mantenimiento de las industrias: la confiabilidad, el rendimiento y la disponibilidad de los equipos. En otras palabras, el mantenimiento trabaja para que un equipo o activo esté disponible para ser usado y realice la función para la que está destinado de acuerdo a sus condiciones óptimas de operación.

A lo largo de los años, y desde la invención de la primera máquina de vapor, los fabricantes y operarios de las mismas se dieron cuenta que por el uso de las máquinas y equipos estos iban mostrando ciertos desgastes que hacían que el funcionamiento se desviara del ideal y que finalmente terminaban con una avería que tenía que ser resuelta con el cambio de algún componente. Es así como nace el tan conocido **mantenimiento correctivo**, que siguió vigente aproximadamente hasta los años 50 en donde gracias a la necesidad de mantener las grandes plantas en funcionamiento se pensó que era necesario no solo corregir las fallas sino también prevenirlas y predecirlas, dándole paso así al **mantenimiento preventivo** y años después al **mantenimiento predictivo**.

Gracias a la tecnología desarrollada y a las teorías de calidad y empoderamiento de los empleados, como la de William E. Deming y las del Sistema de Producción de Toyota (TPS), los tipos de mantenimiento fueron evolucionando. A continuación se presenta una reseña de ellos:

7.3.1 Mantenimiento correctivo

Mantenimiento correctivo: Teniendo en cuenta el concepto de mantenimiento correctivo definido por García Garrido (2003) se pudo entender el mantenimiento como la corrección de las averías o fallas cuando éstas se presentan. Es la habitual reparación tras una avería que obligó a detener la instalación o máquina afectada por el fallo. Existen dos tipos: el programado y el no programado, donde el único factor de decisión es el impacto que genere la reparación en los tiempos y órdenes de producción. Es decir, si la falla ocurre se debe reparar inmediatamente para no tener los equipos parados por mucho tiempo (no programado), pero si se observa que hay una falla incipiente que aún no ha hecho que se pare la producción es posible programar su arreglo para un día próximo en el que se tengan los elementos necesarios para dicha tarea.

Muchas de las ventajas asociadas a este tipo de mantenimiento es que en ocasiones las averías se pueden resolver rápidamente y si la máquina no interviene mucho en el flujo normal de la producción el tiempo que se demore no es un obstáculo. Algunas de las desventajas es la interrupción abrupta que puede causar en la producción si la avería es grave, incluso puede acarrear con ella un accidente laboral o medioambiental, y el tiempo que puede pasar entre el arreglo del equipo, pues mientras se consigue la persona que lo haga o los repuestos, la producción se puede ver realmente afectada causando incumplimientos y otros costos asociados.

Finalmente cabe resaltar que este es el tipo de mantenimiento más utilizado y a pesar de todos los esfuerzos que realicen las empresas, nunca desaparecerá.

7.3.2 Mantenimiento preventivo

Es de carácter sistemático, es decir, se intervienen los equipos así estos no hayan dado ningún síntoma de tener un problema. Se realiza básicamente para prevenir que las fallas que se puedan estar presentando desencadenen una avería grave e inesperada para la que no se esté preparado y pueda ocasionar paradas de producción e incluso accidentes de trabajo. Este mantenimiento tiene estipulados tiempos para realizar las inspecciones o reparaciones, como cantidad de horas de funcionamiento, cantidad de kilómetros recorridos, entre otros. En muchas empresas se practica este tipo de mantenimiento cada vez que se termina un pedido o cada año antes de empezar nuevamente las operaciones.

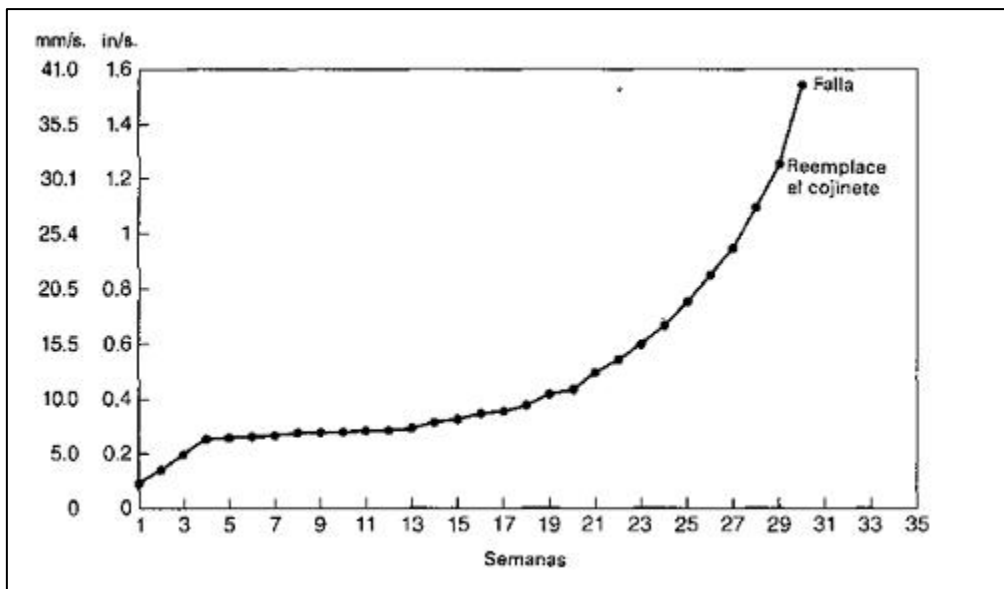
Para practicar este tipo de mantenimiento se debe contar con un poco más de recursos, pues deben existir personas encargadas de programar y planear las actividades y todo lo necesario para que puedan ser realizadas (mano de obra, herramientas, repuestos, tiempos), además deben existir registros o bases de datos en los que se lleven records de las fallas y de las órdenes de mantenimiento emitidas para su arreglo, también se debe hacer un adecuado control de los repuestos y herramientas necesarias (inventarios).

7.3.3 Mantenimiento predictivo

Mantenimiento predictivo: "es una técnica para pronosticar el punto futuro de falla de un componente de una máquina, de tal forma que dicho componente pueda

reemplazarse, con base en un plan, justo antes de que falle. Así, el tiempo muerto del equipo se minimiza y el tiempo de vida del componente se maximiza”. Para que se este tipo de mantenimiento se efectúe se debe llevar un control de las condiciones de operación de los equipos, como su presión, temperatura, vibraciones, etc., para poder verificar cuándo están entre sus límites admisibles de funcionamiento. Se requiere de equipos de medición, de monitoreo y personal que esté presente para llevar un registro de los datos y poder hacer el pronóstico de fallas. A continuación se muestra un ejemplo de los datos obtenidos de las vibraciones de un cojinete o rodamiento, en el que se puede observar el punto crítico que indica cuándo repararlo antes de que la falla realmente suceda.

Ilustración 1. Seguimiento de fallas registradas de una pieza.



Fuente: GARCÍA GARRIDO, Santiago, *Qué es el mantenimiento predictivo*, 2009. <http://www.mantenimientoindustrial.renovetec.com/mantenimientopredictivoquees.html>

Usualmente los fabricantes de las piezas o consumibles suelen proporcionar los datos de vida útil de los productos o de los rangos en los cuales se pueden manejar, lo que hace la tarea un poco más fácil por tener solo que hacer un monitoreo constante. Sin embargo algunos no lo hacen y las empresas deben empezar desde cero llevando un registro de las fallas registradas a lo largo del funcionamiento de la pieza y a la vez controlando las condiciones de operación para entender el proceso del desgaste y posterior avería.

7.3.4 Mantenimiento autónomo o en uso

Teniendo en cuenta lo que dijo HOZEN JISHU (2011) que “el mantenimiento autónomo o mantenimiento en uso está fundamentado en el conocimiento que los operadores tienen para mantener y manejar en su totalidad las condiciones de sus equipos desde los mecanismos, manejo de la maquinaria, hasta los cuidados, averías, etc.”. Es uno de los pilares de TPM (que será explicado más adelante) y pretende que los empleados creen un sentido de pertenencia por la máquina con la cual trabajan y se preocupen por su correcto funcionamiento, detectando a tiempo irregularidades y

corrigiendo aquellas que puedan de la forma correcta. Es evidente que para que esto suceda la dirección de la empresa debe invertir tiempo y dinero en sus trabajadores para que estos se capaciten y entrenen en conocer acerca de los equipos, sus características y cómo mantenerlos funcionando para que estén disponibles el mayor tiempo posible.

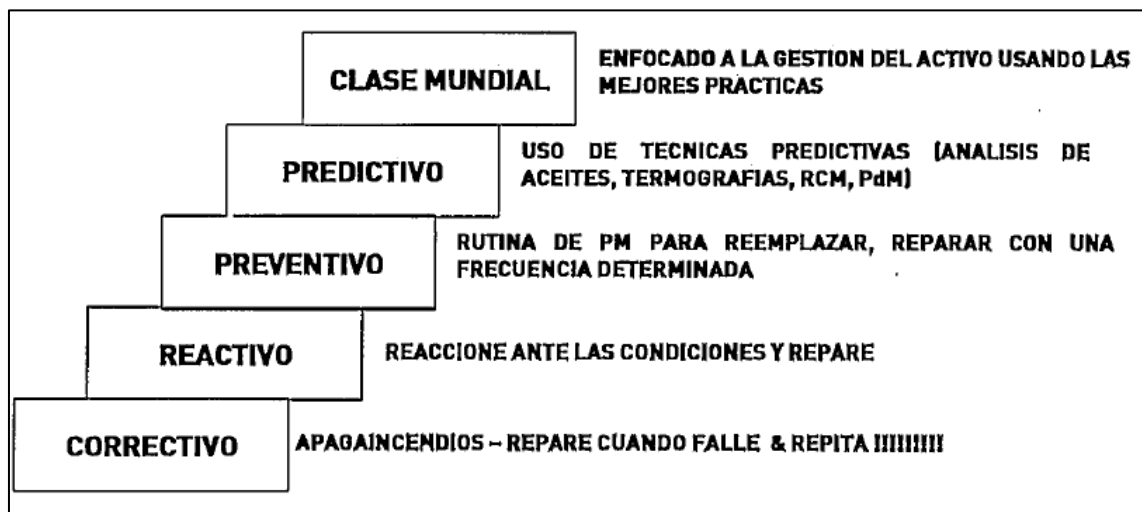
Después de ver los tipos de mantenimiento que existen se debe ahora decidir qué tipo de modelo utilizar. Es decir, una empresa puede diseñar un plan de actividades específicas para sus equipos pero como todos ellos son diferentes, sus actividades también pueden serlo. En la práctica se han establecido algunos modelos que logran integrar varios de los tipos de mantenimiento antes explicados, pero en diferentes proporciones y con distintas actividades para cada equipo o grupo de equipos. Sin embargo, la teoría y las experiencias han demostrado que todos estos modelos deben tener como principio fundamental dos actividades que si bien no representan altos costos, pueden ayudar a mantener los equipos en buen funcionamiento sin mucho esfuerzo o dedicación especial, estas actividades son la lubricación y las inspecciones visuales. Los modelos son:

- **Modelo Correctivo:** Como su nombre lo indica, este modelo tiene como fundamento el mantenimiento correctivo y se dedica a lubricar, inspeccionar y reparar las averías encontradas. Usualmente este modelo se le aplica a aquellos equipos que no sean muy importantes o vitales para el funcionamiento de los procesos, o sea que no representen paradas graves o amenazas hacia la seguridad industrial.
- **Modelo condicional:** En este modelo se realizan las actividades del modelo correctivo pero además se le agrega una revisión condicional que establece si se actúa o no sobre el equipo. Para esto se deben tener estándares de funcionamiento o condiciones de operación establecidas para que al ser estas monitoreadas se pueda decidir si intervenir o no. Esto se hace en equipos que no son utilizados por mucho tiempo y que por tanto pueden tener una probabilidad de fallo muy baja. Este modelo tiene que ver mucho con el mantenimiento predictivo y sus actividades están encaminadas a tener un buen control estadístico sobre la manera en que los equipos operan.
- **Modelo sistemático:** Este modelo es normalmente aplicado a equipos clasificados como de disponibilidad media en los cuales alguna falla repentina puede producir algunos problemas relevantes. Las actividades que normalmente se ejecutan, además de la inspección y de la lubricación, son aquellas que estén programadas ya sea que al hacer las mediciones y controles se hayan identificados posibles fallos o no. Es decir, a un equipo se le pueden programar arreglos o revisiones sin tener idea de cómo está realmente el equipo o si verdaderamente las necesita. Lo anterior se pudo observar con un ejemplo brindado por García Garrido Santiago con el de un reactor químico, el cuál necesita ser monitoreado pero a su vez es recomendable hacer una inspección rigurosa cada vez que éste vaya a ser usado pues las empresas no se pueden dar el lujo de que estos fallen (esto produciría no solo un elevado costo de reparación si no también un grave accidente para los empleados o para el medio ambiente)
- **Modelo de alta disponibilidad:** Como su nombre lo indica este modelo pretende cumplir con las exigencias de disponibilidad de casi del 90% de algunos equipos, que son verdaderamente importantes y vitales para el funcionamiento

de la empresa. Para estos equipos es recomendable, además de lubricar, inspeccionar visualmente y llevar un registro de condiciones de operación, hacer una parada programada anual u *overhaul* en el que se puedan cambiar piezas que tengan una vida útil corta y tiendan a desgaste. Algo que lo distingue de todos los demás es que este modelo no permite un mantenimiento correctivo pues las consecuencias pueden ser muy perjudiciales; por esto se apoya en el mantenimiento preventivo y predictivo buscando que el equipo mantenga una disponibilidad constante y con *cero averías*.

En la siguiente gráfica se observa cómo han evolucionado los tipos de mantenimiento antes expuestos a través del tiempo, donde se ve como el desarrollo de la economía, de los estándares y de la tecnología han ido de la mano de todos estos cambios.

Ilustración 2. Evolución de los tipos de mantenimiento.



Fuente: GARCÍA GARRIDO, Santiago. *Organización y gestión integral de mantenimiento*, 2003.

7.4 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO

Como se pudo observar en el ítem anterior, los tipos de mantenimiento utilizados son muchos y su implementación depende de los lineamientos de trabajo de cada empresa. Sin embargo, se considera que existen 2 grandes estrategias de mantenimiento que logran reunir varios aspectos relacionados dichas actividades, como qué tipo utilizar, qué hacer con la mano de obra requerida, cómo instituir la filosofía en la empresa, etc. A continuación se exponen los puntos más importantes de cada una.

7.4.1 Total productive maintenance o TPM

Total Productive Maintenance o TPM: este término nace en Japón después de que el mantenimiento preventivo no puede ir al pie del aumento significativo de la producción y automatización de las industrias de este país. Se define básicamente como una metodología que se enfoca en la eliminación de pérdidas asociadas con paros, calidad y costos en los procesos de producción industrial, por lo que pretende lograr cero defectos, cero averías y cero accidentes.

Entre sus aspectos más relevantes se puede mencionar que logra combinar las mejores prácticas de la calidad total, el mantenimiento y la gestión de la producción para lograr un nivel de productividad lo más alto posible, que se puede medir con un indicador llamado Eficiencia Global de los Equipos (OEE); también se debe mencionar que a diferencia del RCM el TPM se enfoca hacia la disponibilidad de los equipos y no en su confiabilidad entendiéndose esta como la "capacidad de un ítem de desempeñar una función requerida, en condiciones establecidas".

El término fue expresado por primera vez por un alto funcionario del reconocido Japanese Institute of Plant Management (JIPM) Seiichi Nakajima quien lo definió como: "El TPM es una filosofía de manufactura que enfoca y valoriza la relación efectiva de los operadores con el equipo y sus funciones, teniendo en cuenta la eliminación total de pérdidas". Esta teoría fue la continuación de la teoría de Total Quality Management TQM y en la actualidad se considera como una de las partes más importantes de la aplicación exitosa de un sistema de Lean Manufacturing dentro de las empresas.

Desde que fue creada esta estrategia el paradigma más importante que tuvo que cambiarse fue el de la poca importancia que tenían los empleados dentro de las actividades de mantenimiento, pues a lo largo de los años se había creado una imagen de que solo los contratados para dichas tareas eran los responsables por los equipos, pero la verdad es que esto no tenía mucho sentido pues no eran ellos los que estaban siempre ahí presentes y ciertamente no eran ellos los que se daban cuenta del desempeño real de las máquinas. Las empresas se dieron cuenta que los empleados no solo eran un recurso para poder producir sino que por el contrario mantenerlos felices, enseñándoles y teniéndolos en cuenta como pilares de la organización, era un tarea vital para que estos desarrollaran habilidades no solo de mantenimiento sino también de calidad y de organización que evidentemente les ayudaría a instituir esta estrategia mucho más fácilmente, obteniendo resultados más rápido de lo esperado.

Las empresas que pueden implementar esta filosofía son aquellas que busquen incrementar sus utilidades, aumentar su productividad y disponibilidad de los equipos y aquellas que realicen una gran cantidad de actividades en las que puedan intervenir muchas personas. Algunos de los beneficios que se pueden obtener aplicando esta filosofía son:

- Mejor calidad del producto.
- Ahorros significativos de las actividades de mantenimiento.
- Mayor cohesión y colaboración entre la fuerza laboral.
- Aumento de la disponibilidad de los equipos y por tanto aumento de la productividad.
- Mejoramiento continuo.

Para la implementación de la filosofía TPM en una empresa es muy importante tener en cuenta los pilares que propone el Japan Institute of Productive Maintenance o JIPM, quienes desde hace varios años han controlado este arduo pero beneficioso proceso. Seguir estos pilares puede no ser fácil ya que todas las empresas son heterogéneas pero tenerlos en cuenta hace que el proceso sea más fácil y asegura un gran porcentaje de éxito de la gestión. De acuerdo a una tesis ecuatoriana elaborada por Piedra p y María Fernanda (2005) se pudo mostrar que los 8 pilares son

1. Mejoras Enfocadas o Kobetsu Kaizen
2. Mantenimiento Autónomo o Jishu Hozen
3. Mantenimiento Progresivo o Keikaku Hozen
4. Mantenimiento de Calidad o Hinshitsu Hozen
5. Mantenimiento en Áreas Administrativas
6. Gestión Temprana de Mantenimiento
7. Liderazgo y formación
8. Seguridad, higiene y medio ambiente

Algunos casos exitosos analizados por el Dr. Jack Roberts (2011) son los de empresas como Kodak que reportó que con 5 millones de dólares de inversión logró aumentar sus utilidades en \$16 millones de beneficio directamente derivado de implementar esta estrategia, o el caso de Texas Instruments que reporta hasta un 80% de incrementos de su productividad.

7.4.2 Reliability centered maintenance o RCM

Reliability Centered Maintenance o RCM: es una más de las estrategias de mantenimiento que se pueden utilizar y ha sido definida por la SAE (Society of Automotive Engineers) (2009) como: “proceso específico utilizado para identificar las políticas que deben aplicarse para gestionar los modos de fallas que podrían causar el fracaso funcional de todos los elementos físicos en un contexto operativo dado”. En otras palabras, es una filosofía de mantenimiento que determina una secuencia o programación de actividades de mantenimiento ideal que busca mantener las funciones (primarias y secundarias) de los equipos con miras a alcanzar la mayor confiabilidad⁴ de ellos.

El término fue utilizado por primera vez en los años 60 cuando la industria aeronáutica empezó a darse cuenta de la gran cantidad de accidentes que se estaban presentando, por lo que empezó a desarrollar una metodología que pudiera asegurar la *fiabilidad* en las operaciones de los aviones. Para los años 80, y gracias a sus buenos resultados en el campo de la aviación, las industrias empezaron a utilizar también esta metodología y uno de los pioneros en la introducción del tema fue John Moubray, quien logró desarrollar una serie de pasos y normas que especificaban cómo hacer que el RCM o RCM2, como lo denominó, funcionara para las industrias manufactureras. En 1999 nace la norma SAE JA 1011 que especifica los requerimientos que una empresa debe cumplir para asegurar que sus equipos trabajan bajo una filosofía de mantenimiento RCM.

Se puede decir que las ventajas obtenidas más conocidas gracias a la implementación de esta filosofía son no solo reducir los costos por las operaciones innecesarias de mantenimiento, sino también las relacionadas con el conocimiento y la identificación de la funcionalidad de cada equipo, pues hacerles un mantenimiento así porque sí sin saber realmente qué es lo que se debe buscar que haga no es rentable bajo ninguna

⁴ Confiabilidad está definida por http://www.solomantenimiento.com/m_confiabilidad_crm.htm como la probabilidad en que un producto realizará su función prevista sin incidentes por un período de tiempo especificado y bajo condiciones indicadas.

circunstancia. Algo muy interesantes que también se rescata de esta filosofía es su alto interés en conocer las posibles fallas que se puedan presentar y entender de qué maneras estas pueden incidir en las condiciones de funcionamiento de la empresa o en la salud de los empleados o en el bienestar del medio ambiente. Para esto el RCM utiliza una técnica conocida como AMFE o análisis modal de fallos y efectos, el cual ayuda a entender a través del ciclo de vida del producto cuándo es posible que se presenten estos fallos y qué efectos tendrán de manera que sea posible prepararse evitándolos o amortiguándolos.

Cuando se va a iniciar el proceso de implementación de RCM se debe tener en cuenta la siguiente secuencia de preguntas y actividades propuestas en el libro de John Moubray RCMII (1999):

1. ¿Cuáles son las funciones y desempeño estándar de los equipos en su contexto normal de operación? Funciones primarias y secundarias
2. ¿De qué manera el equipo falla y no cumple con sus funciones? Cuáles son las fallas que se presentan
3. ¿Qué causa dicha falla funcional? Cuáles son los modos de falla: eventos que pueden causar una falla
4. ¿Qué sucede cuando cada falla ocurre? Cuáles son las consecuencias: paradas de producción, accidentes, defectos en los productos, etc.
5. ¿Cuál es la importancia o efectos de esas fallas? Qué representan estas fallas para la empresa: dinero, desperdicios, muertes, etc.
6. ¿Qué se puede hacer para prevenir o predecir cada falla?
7. ¿Qué se debe hacer si no se encuentra alguna manera de minimizar o eliminar la consecuencia de la falla?

Estas preguntas deben ser analizadas por un grupo de trabajo de aproximadamente 5 personas, entre las que se encuentran operarios, especialistas, auditores y los mismos gerentes o jefes de la planta. Gracias al estudio de las fallas RCM clasifica las fallas de acuerdo a sus consecuencias de la siguiente manera:

- Fallas escondidas: son aquellas que no se ven claramente o no impactan directamente a las actividades, pero que sí pueden exponer a la organización a algunas posibles fallas con consecuencias importantes.
- Consecuencias de seguridad y medio ambiente: aquellas que pueden representar un gran peligro de heridas o daños a las personas, incluida la muerte. Y para el medio ambiente se refiere a los estándares establecidos de acuerdo a la actividad de cada empresa.
- Consecuencias operacionales: son aquellas producidas por una falla que incide de manera directa en el producto, sus características o sus servicios relacionados, como su calidad o el servicio al cliente prestado.
- Consecuencias no operacionales: estas solo representan costos para la empresa pero por reparación o mantenimiento directo, pues no afectan ni la producción ni la seguridad de las personas o del medio ambiente.

Algo que el autor John Moubray (1999) destaca acerca de esta clasificación de fallas es que les permite a las personas pensar un poco más acerca de cómo manejarlas y

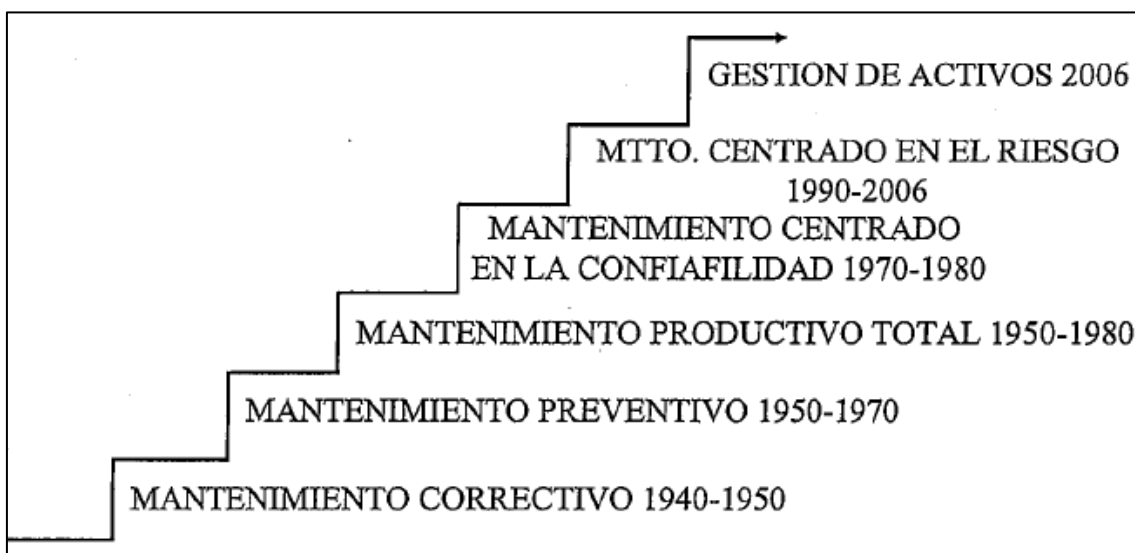
no cómo evitarlas, pues es evidente que esto no siempre es posible. Es por esto que se también se definen 2 técnicas de manejo de fallas: *las tareas proactivas* (aquellas relacionadas con mantenimiento predictivo y preventivo que se pueden ejecutar antes que las fallas ocurran) y *las acciones por defecto* (son las relacionadas con el mantenimiento correctivo y se hacen cuando las fallas ya suceden porque no es posible hacer alguna actividad para evitar que suceda).

Finalmente es importante mencionar que así como la filosofía TPM, lo que aplica para una empresa puede no servir para otra y son muchos los factores que influyen en una correcta implementación y aceptación de la filosofía dentro de los procesos productivos y de la cultura organizacional. Es por esto que si una empresa quiere empezar con este proceso lo mejor es remitirse a la norma SAE JA 1011 y tomar en cuenta todas sus recomendaciones y consejos. Hacer esto no solo asegura que el modelo empleado sea reconocido y avalado por estándares internacionales, sino que también asegura que el RCM logrará:

- Mayor seguridad e integridad ambiental.
- Mejor desempeño operacional.
- Mayor relación costo-beneficio en cuanto a costos de mantenimiento.
- Mayor vida útil de activos caros e importantes.
- Más y mejor trabajo en equipo.

En la siguiente gráfica se muestra cómo se ha ido avanzando en la materia de mantenimiento desde los tipos básicos hasta las filosofías que logran integrar variados aspectos formando modelos mucho más estructurados y por los que se rigen las operaciones de muchas empresas.

Ilustración 3. Historia del mantenimiento.



Fuente: GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y gestión integral de mantenimiento, 2003.

7.4.3 Análisis de criticidad.

A pesar de conocer los tipos de mantenimiento que existen y los diferentes modelos que se pueden aplicar, los procesos productivos de las empresas son todos muy variados e igualmente lo son sus equipos, por lo que es tarea de cada empresa definir qué tareas realizar según su propia infraestructura para lo que es de vital importancia aplicar el conocido **análisis de criticidad** tanto para equipos como para fallas y de esta manera identificar qué pasos seguir y cómo estructurar un adecuado plan de acción para cada tipo de equipo o de avería.

Ilustración 4. Modelo de análisis de criticidad.

ANÁLISIS DE CRITICIDAD				
Tipo de equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento
A CRITICO	Puede originar accidentes muy graves.	Su parada afecta el plan de producción.	Es clave para la calidad del producto.	Alto costo de reparación en caso de avería
	Necesita revisiones periódicas frecuentes (mensuales).		Es el causante de un alto porcentaje de rechazos.	Averías muy frecuentes
	Ha producido accidentes en el pasado.			Consumen una parte importante de los recursos de mantenimiento.
B IMPORTANTE	Necesita revisiones periódicas (anuales).	Afecta a la producción, pero es recuperable (no llega a afectar a clientes o al plan de producción).	Afecta a la calidad, pero habitualmente no es problemático.	Costo medio en mantenimiento
	Puede ocasionar un accidente grave, pero las posibilidades son remotas.			
C PRESCIDIBLE	Poca influencia en seguridad.	Poca influencia en producción.	No afecta a la calidad.	Bajo costo de mantenimiento.

Fuente: GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y gestión integral de mantenimiento, 2003.

- Análisis de criticidad en equipos

Dentro de una empresa manufacturera o de servicios existen equipos y recursos que hacen que la empresa tenga competitividad en el mercado gracias a la producción de algunos productos, pero la verdad es que no todos los equipos tienen la misma importancia dentro de las operaciones de la empresa. De esta manera Orrego B. y Juan C (2011) realizan la ecuación $Criticidad = Frecuencia * Consecuencias$, donde los principales componentes de este último elemento son: impacto operacional, costo de mantenimiento y frecuencia de fallas, calidad en los productos e impacto en la seguridad y en el medio ambiente. De los resultados obtenidos aquí se pudo asignar una categoría a cada equipo y estas son:

- Equipos críticos: Son aquellos equipos que son primordiales para la producción, debido a que si tienen alguna falla o parada afectan significativamente el plan de producción, el aumento en el indicador de productos rechazados, altos costos (reparación, mano de obra por revisiones frecuentes) para la empresa, además puede originar accidentes graves o fatales
- Equipos importantes: Son aquellos equipos que tienen un grado de importancia inferior a los equipos críticos, pero si estos presentan fallas o paradas afectan a la producción, pero es recuperable, es decir no se pierden clientes o no afecta el plan de producción, a su vez afecta la calidad, pero en porcentajes muy bajos, su costo de mantenimiento es medio y puede ocasionar un accidente grave, pero las posibilidades son remotas.
- Equipos prescindibles: Son aquellos que afectan levemente los resultados. Como mucho, presentaran poca influencia a la producción, no se afecta la calidad del producto, tienen un bajo costo de mantenimiento.

- Análisis de criticidad de averías

Es trascendental estudiar las consecuencias que pueden presentar las fallas o averías que tiene cada equipo de producción. Teniendo estas en cuenta, se decidirá si la falla se debe solucionar inmediatamente o si se puede controlar o amortiguar de alguna manera. Estas pueden ser definidas de manera similar a los equipos:

- Avería urgente: es aquella que significa un gran problema para la continuidad de la producción o representa un peligro ya sea para los empleados o para el medio ambiente (seguridad industrial). Como cuando se avería la turbina de una planta generadora de electricidad o cuando se producen fugas en las tuberías de residuos tóxicos de alguna compañía de productos químicos.
- Avería importante: es aquella que puede esperar un poco para ser solucionada pues no representa un gran obstáculo para el funcionamiento normal de la planta, ya sea en capacidad de producción o en seguridad industrial. Un ejemplo es si se tienen 2 máquinas que hacen lo mismo y ambas trabajan a la mitad de su capacidad, mientras una espera por ser arreglada la otra puede tomar su producción al menos por un tiempo determinado.
- Avería programable: es aquella que puede esperar a que las averías anteriores se solucionen pues no representan ningún peligro ni para la producción ni para las personas o para el medio ambiente. Puede ser una pequeña falla identificada al inicio de la jornada de trabajo que es programada para reparación cuando el equipo se detenga o cuando se acabe la jornada.

Por otro lado, es importante entender que cuando una avería sucede esta se puede presentar por un gran número de razones, las cuales deben ser analizadas y tenidas en cuenta para próximas reparaciones o controles (mantenimiento predictivo) de los equipos en los que se observaron. Algunas de estas causas pueden ser:

- Falla en el diseño
- Falla en el material (rotura, desgaste, fatiga)
- Error humano (operación, mantenimiento)

- Condiciones externas

Finalmente, el Tiempo Promedio entre Reparaciones, o por sus siglas en inglés MTTR, debe ser el mínimo posible para evitar más tiempo perdido y costos. Para esto la empresa debe tener una muy buena capacidad de respuesta para gestionar las siguientes actividades lo más rápido posible sin dejar la calidad del servicio del mantenimiento de lado:

1. Tiempo de detección de la avería: es el tiempo que pasa antes de que los empleados se den cuenta que la máquina no está funcionando como debería o que definitivamente ya no funciona en lo absoluto.
2. Tiempo de comunicación de la avería: es el tiempo que pasa mientras que el daño es comunicado por el empleado a su jefe y este a su vez lo comunica a los encargados (dependiendo de cómo esté organizado el departamento de mantenimiento de la empresa).
3. Tiempo de espera: es aquel que transcurre desde que el problema se comunica y antes de que alguien sea enviado para ver qué es lo que realmente sucede.
4. Diagnóstico de la avería: el que las personas que revisan el equipo se demoran en entender qué parte del equipo fallo y qué se debe hacer para repararla, si desarmar todo el equipo o solo quitar algunas piezas, etc.
5. Alistamiento: es el que pasa entre el momento en que se hace la lista de herramientas y repuestos necesarios y entre la consecución de los mismos para empezar con el servicio de mantenimiento o arreglo del equipo.
6. Reparación de la avería: es el tiempo neto que se demora el encargado en dejar el equipo bien o en buen funcionamiento.
7. Pruebas de funcionamiento: este tiempo es casi opcional, aunque debe hacerse, pues es la verificación de que el trabajo fue exitoso. Es decir, se debe poner a funcionar la máquina sin incorporarla aún a sus actividades habituales para evitar inconvenientes como productos defectuosos.
8. Puesta en servicio: es el tiempo que transcurre entre la finalización de las pruebas y el funcionamiento normal del equipo.
9. Control: es el tiempo requerido para escribir las anotaciones y observaciones acerca del mantenimiento y del equipo.

7.5 COSTOS ASOCIADOS A LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO.

A todos los empresarios les interesa tener utilidades y una manera de aumentarlas es reduciendo los costos de administración, producción, etc., dentro de la gestión de mantenimiento que hacen las empresas existen dos tipos de costos: costos directos de mantenimiento y costos de oportunidad, estos dos tipos de costos se encuentran subdivididos en 4:

- Costos de intervención: Están directamente relacionados con el mantenimiento preventivo y correctivo. Los gastos que se tienen en cuenta son: costo de la mano de obra interna y externa, repuesta en la bodega o comprada para la reparación y el material fungible usado en la intervención.
- Costos por fallas: Cuando no se tiene un plan de mantenimiento definido o cuando es mal ejecutado se incurren en fallas de maquinaria que a su vez generan pérdidas en el margen de utilidad debido a una reducción en la tasa de producción de productos con calidad deseada, costos por multas debido al

daño ambiental, pérdida de negocios, pérdida de materia prima que no se puede reprocesar, etc.

- **Costos de almacenamiento:** Es aquí donde los costos aumentan para los empresarios, debido a que tienen que tener un inventario guardado que no está generando ingresos. El almacenamiento de este inventario destinado al mantenimiento genere unos costos por mano de obra e infraestructura computacional (ERP), costos de energía, seguridad y mantenimiento, costos en seguros, etc.
- **Costos de sobre-inversión:** Cuando es necesario comprar una nueva máquina que implica inversiones mayores que otras máquinas y que cumplen con los mismos requerimientos, pero que tiene un mayor ciclo de vida.

8 METODOLOGIA

Para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos del trabajo de grado se utilizara la metodología descrita a continuación, la cual relaciona cada uno de los objetivos específicos, con el que hacer para su cumplimiento, la forma como se desarrollara y el resultado final esperado.

- **Objetivo Específico 1:** Búsqueda de base de datos suministradas por entidades estatales u otros organismos y consolidación de una base particular para el trabajo de campo, se entregara documento de base de datos con mínimo 50 empresas del sector.
- **Objetivo Específico 2:** Como instrumento de caracterización se construirá una encuesta que en su gran mayoría este constituida por preguntas de tipo cerrada.
- **Objetivo Específico 3:** Con la ayuda de tecnologías de la información se procederá a la aplicación del instrumento de caracterización (encuesta) en un número considerable de empresas.
- **Objetivo Específico 4:** A través de técnicas estadísticas se procederá a realizar el análisis de los resultados, construcción del informe y socialización de los mismos, con el propósito de servir como punto de partida a futuros trabajos de grado y de investigación en el tema, al igual que en el desarrollo de actividades de extensión del programa de Ingeniería Mecánica.

8.1 RESULTADOS ESPERADOS

- Base de datos de empresas del sector metalmeccánico de Bogotá.
- Instrumento de caracterización
- Resultados analizados e informe cuantitativo y cualitativo

9 ASPECTOS DE LA ADMINISTRACIÓN Y EL CONTROL

9.1 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDAD	SEMANAS															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Busqueda de base de datos empresariales	x	x														
Consolidar base de datos para el desarrollo del trabajo de campo			x	x												
Construccion del instrumento de caracterizacion		x	x	x	x	x	x	x								
Visita a empresas					x	x	x	x								
Envio de la encuesta a empresas									x							
Respuesta a encuesta por parte de las empresas									x	x	x	x				
Analisis de resultados													x	x		
Presentacion de resultados															x	
Elaboracion del informe final														X	X	X

10 PRESUPUESTO DE LA INVESTIGACIÓN

el presupuesto de esta investigación esta soportado en la realización de un estudio de caracterización de las áreas de mantenimiento en empresas del sector metalmecánico de Bogotá y sus alrededores, la investigación preliminar para la obtención de toda la información necesarias deberá hacer con los recursos con los que cuenta el proponente de este proyecto, el análisis se hará con la colaboración del cuerpo docente de la universidad distrital francisco José de caldas y un trabajo conjunto con los investigadores principales, esto simplemente generara los costos de manutención de los mencionados anteriormente, y finalmente la elaboración del estudio propuesto estará a cargo de quien esté interesado en utilizar los beneficios con los que podría contar si obtuviera un estudio de caracterización de las áreas de mantenimiento en Bogotá propuesto en este proyecto, para ser más específico, en la universidad distrital francisco José de caldas para fines investigativos y de desarrollo de proyectos y se haga una evaluación financiera de los costos que con llevan un estudio de esta magnitud lo cual de pende únicamente de la selección de la mejor solución para este problema .

10.1 PRESUPUESTO

DESCRIPCION GENERAL	FASE	DESCRIPCION ESPECIFICA	COSTO UNIDAD	COSTO TOTAL
PAPEPLERIA	PRESENTACION ANTEPROYECTO	IMPRESION PRIMERA ENTREGA (CORRECCIONES)	\$100	\$2000
		IMPRESIÓN SEGUNDA ENTREGA (CORRECCIONES)	\$100	\$3000
		ENTREGA PROYECTO CURRICULAR	\$7000	\$7000
	DESARROLLO DEL PROYECTO	IMPRESIÓN PARA LAS ASESORIAS ANTE TUTORES	\$100	\$25000
	PRESENTACION DEL PROYECTO	IMPRESIÓN REVISION TUTOR	\$100	\$30000
		IMPRESIÓN PROYECTO PARA PRESENTACION ANTE JURADOS	\$100	\$35000
		IMPRESIÓN PROYECTO PARA ARCHIVO UNIVERSIDAD	\$100	\$35000
		ENCUADERNACION Y CD	\$10000	\$10000
TRANSPORTES	INVESTIGACION	TRASPORTES A BIBLIOTECAS Y FUENTES DE INFORMACION	\$2200	\$52800
ALIMENTACION	REALIZACION DEL PROYECTO	ALIMENTACION INVESTIGADORES	\$12000	\$1'440.000
MANO DE OBRA INVESTIGADORES	REALIZACION DEL PROYECTO	HORAS HOMBRE	\$70000	\$8'400.000
			COSTO TOTAL	\$10'039.800

11 BIBLIOGRAFIA

BARRERA, JUAN CARLOS. (s.f). Análisis de criticidad. Obtenido de <http://www.slideshare.net/mantonline/anlisis-de-criticidad-presentation>

BOXWELL, ROBERTO J. (2008). UNIVERSIDAD DON BOSCO. Benchmarking para Competir con Ventaja. Obtenido de http://www.galeon.com/rcruz0423/Archivo_descargable/CLArauz.pdf

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. (2007). Documento sectorial: Metalmecánica y Siderurgia. *Agenda interna para la productividad y la competitividad*

ELLMANN, ENRIQUE. (2008). Confiabilidad: Una Estrategia de Negocios diferente. Obtenido de <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/Elldmann.pdf>

FRANCO, IRENE. (S.F). Mantenimiento predictivo. Obtenido de www.monografias.com/trabajos17/mantenimiento-predictivo/mantenimiento-predictivo.shtml

GARCÍA GARRIDO, SANTIAGO. (2009). TIPOS Y MODELOS DE MANTENIMIENTO. Obtenido de www.mantenimientoindustrial.renovetec.com/tiposdemantenimiento.html

GARCÍA GARRIDO, Santiago. Mantenimiento Correctivo: Organización y gestión de la reparación de averías. Edición No. 1. Editorial RENOVETEC, 2009. 26 pág.

GARZÓN O., JUAN C. Mantenimiento productivo total [diapositivas]. Cali: Universidad Icesi de Cali, S.F. Diapositiva 32

JISHU HOZEN: MANTENIMIENTO AUTÓNOMO por P.A.G.M. Artículo de JOMS de México consultoría industrial

MOUBRAY, JOHN. (1999). Reliability centered-maintenance. Edición No.2. Editorial Industrial Pr- Estados Unidos.

PIEDRA P., MARÍA F. Gerencia estratégica de mantenimiento de la empresa plásticos del Litoral-plastlit [Tesis de grado].Guayaquil: Escuela superior politécnica del litoral. Facultad de ingeniería en electricidad y computación; 2005. 106 p

ROBERTS, JACK. TPM Mantenimiento Productivo Total: su definición e historia. Departamento de Tecnología e Ingeniería Industrial Texas A&M University-Commerce. Obtenido de www.mantenimientoplanificado.com/tpm.htm

SAE INTERNATIONAL. (2009). Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. Obtenido de http://standards.sae.org/ja1011_200908

THOMPSON, IVAN (2006). Tipos de encuesta. Obtenido de <http://www.promonegocios.net/mercadotecnia/encuestas-tipos.html>

YACUZZI, ENRIQUE. MARTÍN, FERNANDO. (s.f). QFD: CONCEPTOS, APLICACIONES Y NUEVOS DESARROLLOS. Obtenido de <http://blog.pucp.edu.pe/media/avatar/187.pdf>