



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

**“DEFINICIÓN DE LAS FUNCIONES Y HERRAMIENTAS PARA  
UN SOFTWARE DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO  
AJUSTADAS A LOS REQUERIMIENTOS DE LA INDUSTRIA  
CEMENTERA ECUATORIANA”**

**ALEX GIOVANNY TENICOTA GARCÍA**

## **TESIS DE GRADO**

**Previa a la obtención del Título de:**

**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2012**

**ESPOCH**

FACULTAD DE MECÁNICA

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

**Julio, 23 de 2012**

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**ALEX GIOVANNY TENICOTA GARCÍA**

---

Titulada:

**“DEFINICIÓN DE LAS FUNCIONES Y HERRAMIENTAS PARA UN  
SOFTWARE DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO AJUSTADAS A LOS  
REQUERIMIENTOS DE LA INDUSTRIA CEMENTERA ECUATORIANA”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

---

Ing. Geovanny Novillo A.  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Dr. Marco Haro  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Patricia Nuñez  
ASESORA DE TESIS

# ESPOCH

FACULTAD DE MECÁNICA

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** ALEX GIOVANNY TENICOTA GARCÍA

**TÍTULO DE LA TESIS:**

“DEFINICIÓN DE LAS FUNCIONES Y HERRAMIENTAS PARA UN SOFTWARE DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO AJUSTADAS A LOS REQUERIMIENTOS DE LA INDUSTRIA CEMENTERA ECUATORIANA”

**Fecha de Examinación:** Julio, 23 de 2012.

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. Hernán Samaniego (Presidente Trib. Defensa)			
DR. Marco Haro (Director de Tesis)			
ING. Patricia Nuñez (Asesora de Tesis)			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

f) Presidente del Tribunal

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

La tesis de grado que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

.....

f) Alex Giovanni Tenicota García

## **DEDICATORIA**

Esta tesis de grado y como todas las cosas que hago en la vida en primer lugar le dedico a Dios, que por medio de su compañía me ha brindado una oportunidad para vivir en plenitud. Con todo cariño a mis padres Luis y Nancy que me han podido educar de la mejor manera, forjando en mi valores y principios necesarios para emprender un camino como persona de bien. A mi hermano Christian que en todo momento me acompañó así como toda mi familia que están pendientes de mí y de lo que haga sin importar lo lejos que se encuentren.

**Alex Tenicota García**

## **AGRADECIMIENTO**

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento, sus directivos y profesores por brindarme la oportunidad de obtener una profesión y ser una persona útil a la sociedad.

Y de manera especial a los profesionales de las plantas cementeras de cada empresa entrevistada, que brindaron su colaboración al momento del desarrollo de esta tesis. A los amigos, compañeros, y personas que de una u otra manera aportaron para la realización de la presente.

Para todos ustedes gracias de corazón y que Dios los bendiga.

**Alex Tenicota García**

## CONTENIDO

	Pág.	
<b>1</b>	<b>GENERALIDADES</b>	
1.1	Introducción.....	1
1.2	Justificación.....	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	<i>Objetivo general</i> .....	3
1.3.2	<i>Objetivos específico</i> .....	3
<b>2</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	
2.1	Gestión del mantenimiento.....	5
2.1.1	<i>Definición</i> .....	5
2.1.2	<i>Importancia</i> .....	5
2.1.3	<i>Implantación</i> .....	5
2.1.4	<i>Planificación del mantenimiento</i> .....	7
2.1.5	<i>Programación del mantenimiento</i> .....	9
2.1.6	<i>Control del mantenimiento</i> .....	10
2.1.6.1	<i>Costos de mantenimiento</i> .....	10
2.1.6.1.1	<i>Costos fijos</i> .....	10
2.1.6.1.2	<i>Costos variables</i> .....	11
2.1.6.1.3	<i>Costos financieros</i> .....	11
2.1.6.1.4	<i>Costo por falla</i> .....	11
2.1.6.2	<i>Costo óptimo de equilibrio</i> .....	11
2.1.6.3	<i>Indicadores del mantenimiento</i> .....	13
2.1.6.3.1	<i>Tiempo medio entre fallas (MTBF)</i> .....	13
2.1.6.3.2	<i>Tiempo promedio para la falla (MTTF)</i> .....	13
2.1.6.3.3	<i>Tiempo medio para reparación (MTTR)</i> .....	13
2.1.6.3.4	<i>Fiabilidad</i> .....	14
2.1.6.3.5	<i>Disponibilidad</i> .....	14
2.1.6.3.6	<i>Efectividad operacional</i> .....	14
2.1.6.3.7	<i>Mantenibilidad</i> .....	15
2.1.6.3.8	<i>Costo de mantenimiento por facturación</i> .....	15
2.1.6.3.9	<i>Costo de mantenimiento por valor de reposición</i> .....	15
2.1.7	<i>Organización del mantenimiento</i> .....	15
2.1.7.1	<i>Dependencia jerárquica</i> .....	15
2.1.7.2	<i>Centralización/Descentralización</i> .....	16
2.1.8	<i>Contratación del mantenimiento</i> .....	18
2.2	Tipos y niveles de mantenimiento.....	18
2.2.1	<i>El Mantenimiento Correctivo</i> .....	18
2.2.2	<i>El Mantenimiento Preventivo</i> .....	18
2.2.3	<i>El Mantenimiento Predictivo</i> .....	19
2.3	Sistema y proceso de mantenimiento.....	19
2.4	Gestión del mantenimiento asistido por computador.....	20
2.4.1	<i>Definición</i> .....	20
2.4.2	<i>Descripción de un sistema informático</i> .....	21
2.4.3	<i>Ventajas de la implementación de un sistema informático</i> .....	21
2.4.4	<i>Desventajas con relación al sistema de control manual</i> .....	22
2.4.5	<i>Funciones de los softwares de gestión de mantenimien</i> .....	??

2.4.5.1	<i>Funciones propias al personal de intervención</i> .....	23
2.4.5.1.1	<i>Codificación de equipos</i> .....	23
2.4.5.1.2	<i>Documentación técnica</i> .....	23
2.4.5.1.3	<i>Historial</i> .....	23
2.4.5.1.4	<i>Repuestos</i> .....	23
2.4.5.2	<i>Funciones propias a planificación</i> .....	24
2.4.5.2.1	<i>Seguimiento de actividades</i> .....	24
2.4.5.2.2	<i>Preparación de intervenciones</i> .....	24
2.4.5.2.3	<i>Planificación de intervenciones</i> .....	24
2.4.5.3	<i>Funciones propias a la gestión</i> .....	25
2.4.6	<i>Análisis de funciones de los software de gestión de mantenimiento</i> .....	25
2.4.6.1	<i>Trabajos</i> .....	25
2.4.6.1.1	<i>Solicitud de trabajo</i> .....	25
2.4.6.1.2	<i>Órdenes de trabajo</i> .....	26
2.4.6.1.3	<i>Planificación de trabajos</i> .....	28
2.4.6.1.4	<i>Ejecución de trabajos</i> .....	28
2.4.6.1.5	<i>Seguimiento de trabajos</i> .....	29
2.4.6.1.6	<i>Gestión de trabajos</i> .....	30
2.4.6.2	<i>Gestión de almacén y compras (Stock)</i> .....	30
2.4.6.3	<i>Gestión de costos</i> .....	32
2.4.6.4	<i>Elementos de decisión</i> .....	32
2.4.6.4.1	<i>Control de indicadores</i> .....	32
2.4.6.4.2	<i>Análisis de fallas</i> .....	33
2.4.6.4.3	<i>Historial</i> .....	34
2.4.6.4.4	<i>Política de mantenimiento</i> .....	35
2.4.6.5	<i>Talento humano</i> .....	36
2.4.7	<i>Herramientas utilizadas para la gestión del mantenimiento asistido por computador</i> .....	37
2.4.7.1	<i>Herramientas para el control y mejora del proceso de Mantenimiento</i> .....	37
2.4.7.1.1	<i>Indicadores de clase mundial</i> .....	38
2.4.7.1.2	<i>Indicadores para la evaluación de la función del mantenimiento</i> .....	38
2.4.7.2	<i>Herramientas para la consolidación de datos y toma de decisiones</i> .....	43
2.4.7.2.1	<i>Análisis de modos y efectos de falla (AMEF)</i> .....	44
2.4.7.2.2	<i>Árboles de fallos</i> .....	45
2.4.7.2.3	<i>Diagrama de Pareto</i> .....	47
2.4.7.3	<i>Herramienta de gestión económica</i> .....	48
2.4.8	<i>Aplicaciones utilizadas para la gestión del mantenimiento</i> .....	49
2.5	<i>Análisis y diagnóstico del área de mantenimiento</i> .....	50
2.6	<i>Seleccionamiento del software de mantenimiento</i> .....	52

### **3 DESCRIPCIÓN DEL SECTOR INDUSTRIAL EN ESTUDIO**

3.1	<i>Industria cementera del Ecuador</i> .....	55
3.1.1	<i>Holcim Ecuador S.A.</i> .....	56
3.1.1.1	<i>Ubicación de Holcim Ecuador S.A.</i> .....	57
3.1.1.2	<i>Volumen de producción de cemento en Holcim Ecuador S.A.</i> .....	59
3.1.1.3	<i>Estructura organizacional</i> .....	70

3.1.1.4	<i>Descripción del departamento de mantenimiento</i> .....	59
3.1.2	<i>Lafarge Cementos S.A.</i> .....	61
3.1.2.1	<i>Ubicación de Lafarge Cementos S.A.</i> .....	62
3.1.2.2	<i>Volumen de producción de cemento en Lafarge Cementos S.A.</i> ...	63
3.1.2.3	<i>Estructura organizacional</i> .....	63
3.1.2.4	<i>Descripción del departamento de mantenimiento</i> .....	63
3.1.3	<i>Industrias Guapán S.A.</i> .....	64
3.1.3.1	<i>Ubicación de Industrias Guapán S.A.</i> .....	64
3.1.3.2	<i>Volumen de producción de cemento en Industrias Guapán S.A.</i> ...	65
3.1.3.3	<i>Estructura organizacional</i> .....	65
3.1.3.4	<i>Descripción del departamento de mantenimiento</i> .....	65
3.1.4	<i>Cemento Chimborazo C.A.</i> .....	67
3.1.4.1	<i>Ubicación de Cemento Chimborazo C.A.</i> .....	67
3.1.4.2	<i>Volumen de producción de cemento en Cementos Chimborazo CA</i> .....	68
3.1.4.3	<i>Estructura organizacional</i> .....	68
3.1.4.4	<i>Descripción del departamento de mantenimiento</i> .....	68
3.2	<i>Análisis y diagnóstico de la gestión del mantenimiento en las cementeras del Ecuador</i> .....	69
3.2.1	<i>Presentación de resultados de Holcim Ecuador S.A.</i> .....	70
3.2.2	<i>Presentación de resultados de Lafarge Cementos S.A.</i> .....	77
3.2.3	<i>Presentación de resultados de Industrias Guapán S.A.</i> .....	84
3.2.4	<i>Presentación de resultados de Cemento Chimborazo C.A.</i> .....	92
3.3	<i>Inconformidades encontradas</i> .....	99
3.4	<i>Gestión del mantenimiento asistido por computador en las cementeras del Ecuador</i> .....	101
3.4.1	<i>Evaluación de las funciones de los software aplicados actualmente en las cementeras</i> .....	102
3.4.2	<i>Evaluación de las herramientas de los software aplicados actualmente en las cementeras</i> .....	103
3.4.3	<i>Factores claves de seleccionamiento de software para la gestión del mantenimiento</i> .....	105
3.4.4	<i>Especialización de las aplicaciones</i> .....	106
<b>4</b>	<b>DEFINICIÓN DE LAS FUNCIONES Y HERRAMIENTAS PARA UN SOFTWARE DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO AJUSTADAS A LOS REQUERIMIENTOS DE LA INDUSTRIA CEMENTERA ECUATORIANA.</b>	
4.1	<i>Definición de los factores claves para el seleccionamiento</i> .....	108
4.1.1	<i>Servicio posventa</i> .....	108
4.1.2	<i>Precio</i> .....	109
4.1.3	<i>Investigación y desarrollo</i> .....	109
4.1.4	<i>Diseño centrado en el usuario</i> .....	109
4.1.5	<i>Personalización de programa</i> .....	109
4.1.6	<i>Adaptabilidad</i> .....	109
4.1.7	<i>Integración</i> .....	109
4.1.8	<i>Facilidad de uso</i> .....	109
4.2	<i>Arquitectura recomendada del software</i> .....	110
4.2.1	<i>Sistema operativo</i> .....	110
4.2.2	<i>Base de datos</i> .....	110

4.2.3	<i>Administración y seguridad</i> .....	110
4.2.4	<i>Instalación</i> .....	110
4.2.5	<i>Escalabilidad</i> .....	111
4.3	Definición de las funciones para un software de gestión del mantenimiento.....	111
4.4	Definición de herramientas para un software de gestión del mantenimiento.....	119
4.4.1	<i>Árbol de fallas</i> .....	119
4.4.2	<i>Diagrama de Pareto</i> .....	119
4.4.3	<i>Análisis de modo y efecto de fallas (AMEF)</i> .....	120
4.4.4	<i>Análisis de costo del ciclo de vida (LCC)</i> .....	120
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
5.1	Conclusiones.....	123
5.2	Recomendaciones.....	124

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

## LISTA DE TABLAS

		Pág.
1	Relación de costos entre el mantenimiento preventivo y correctivo.....	12
2	Matriz AMEF para gestión de riesgo.....	44
3	Empresas cementeras en Ecuador.....	55
4	Aspectos de evaluación.....	70
5	Criticidad de rutas de inspección en Holcim Ecuador.....	71
6	Manejo de la información sobre equipos en Holcim Ecuador.....	72
7	Mantenimiento actual en Holcim Ecuador.....	74
8	Manejo de costos de mantenimiento en Holcim Ecuador.....	75
9	Efectividad del mantenimiento actual en Holcim Ecuador.....	77
10	Criticidad de rutas de inspección en Lafarge Cementos.....	78
11	Manejo de la información sobre equipos en Lafarge Cementos.....	79
12	Mantenimiento actual en Lafarge Cementos.....	81
13	Manejo de costos de mantenimiento en Lafarge Cementos.....	82
14	Efectividad del mantenimiento actual en Lafarge Cementos.....	84
15	Criticidad de rutas de inspección en Industrias Guapán.....	85
16	Manejo de la información sobre equipos en Industrias Guapán.....	86
17	Mantenimiento actual en Industrias Guapán.....	88
18	Manejo de costos de mantenimiento en Industrias Guapán.....	89
19	Efectividad del mantenimiento actual en Industrias Guapán.....	91
20	Criticidad de rutas de inspección en Cemento Chimborazo.....	92
21	Manejo de la información sobre equipos en Cemento Chimborazo.....	94
22	Mantenimiento actual en Cemento Chimborazo.....	95
23	Manejo de costos de mantenimiento en Cemento Chimborazo.....	97
24	Efectividad del mantenimiento actual en Cemento Chimborazo.....	98
25	Resultados generales de la situación actual del mantenimiento.....	99
26	Evaluación de las funciones en los software de mantenimiento de las cementeras del país.....	102
27	Evaluación de las herramientas en los software de mantenimiento de las cementeras del país.....	104
28	Evaluación de los factores claves en los software de mantenimiento de las cementeras del país.....	105
29	Características de las funciones de GMAO para reducir inconformidades encontradas en la situación actual de la gestión del mantenimiento en las cementeras.....	111

## LISTA DE FIGURAS

		Pág.
1	Áreas de la optimización integral.....	6
2	Costo óptimo de mantenimiento.....	12
3	Tiempos para disponibilidad y efectividad operacional.....	14
4	Dependencia jerárquica del mantenimiento.....	16
5	Ejemplo típico de organigrama funcional.....	16
6	Subdivisión de la ingeniería de mantenimiento en área de estudios y PCM.....	17
7	Posición del PCM asesorando la supervisión general de producción.....	17
8	Técnicas de mantenimiento industrial.....	19
9	Representación de un sistema de información aplicado al mantenimiento.....	19
10	Estructura de las órdenes de trabajo.....	27
11	Estructura de la planificación de trabajos.....	28
12	Estructura de la ejecución de trabajos.....	29
13	Estructura del seguimiento de trabajos.....	30
14	Estructura de la ejecución de almacén y compras.....	31
15	Estructura de la gestión de costos.....	32
16	Estructura del control de indicadores.....	33
17	Estructura del análisis de falla.....	34
18	Estructura de las políticas de mantenimiento.....	35
19	Estructura del talento humano.....	36
20	Gráfico de indicadores estadísticos utilizando R-MES.....	39
21	Representación del MTBF utilizando BLOCKSIM 7.....	40
22	Representación de la fiabilidad en función del tiempo utilizando Fiasoft.....	41
23	Informe de confiabilidad del sistema utilizando RMES.....	41
24	Representación de la disponibilidad utilizando IT ServiceManagement.	42
25	Estudio de la disponibilidad utilizando R-MES.....	42
26	Demostración general de atributos del SisMAC.....	43
27	Representación de la matriz AMEF utilizando RELEX.....	45
28	Elaboración del árbol de fallas utilizando RELEX.....	46
29	Gráfico de Pareto utilizando R-MES.....	47
30	Análisis del costo del ciclo de vida utilizando RELEX.....	48
31	Aplicación demostrativa con MP.....	49
32	Aspectos de estudio en una auditoria de mantenimiento.....	51
33	Capacidad productiva anual de cemento en Ecuador.....	56
34	Distribución de plantas y oficinas de Holcim Ecuador S.A.....	57
35	Ubicación de la planta Holcim Guayaquil.....	58

36	Ubicación de la planta Holcim Latacunga.....	59
37	Ubicación de la planta industrial Lafarge.....	62
38	Ubicación de la planta Guapán.....	65
39	Ubicación de la planta San Juan chico de Cemento Chimborazo.....	68
40	Criticidad de rutas de inspección en Holcim Ecuador.....	71
41	Manejo de la información sobre equipos en Holcim Ecuador.....	73
42	Mantenimiento actual en Holcim Ecuador.....	74
43	Manejo de costos de mantenimiento en Holcim Ecuador.....	75
44	Efectividad del mantenimiento actual en Holcim Ecuador.....	77
45	Criticidad de rutas de inspección en Lafarge Cementos.....	78
46	Manejo de la información sobre equipos en Lafarge Cementos.....	80
47	Mantenimiento actual en Lafarge Cementos.....	81
48	Manejo de costos de mantenimiento en Lafarge Cementos.....	82
49	Efectividad del mantenimiento actual en Lafarge Cementos.....	84
50	Criticidad de rutas de inspección en Industrias Guapán.....	85
51	Manejo de la información sobre equipos en Industrias Guapán.....	87
52	Mantenimiento actual en Industrias Guapán.....	88
53	Manejo de costos de mantenimiento en Industrias Guapán.....	90
54	Efectividad del mantenimiento actual en Industrias Guapán.....	91
55	Criticidad de rutas de inspección en Cemento Chimborazo.....	93
56	Manejo de la información sobre equipos en Cemento Chimborazo.....	94
57	Mantenimiento actual en Cemento Chimborazo.....	96
58	Manejo de costos de mantenimiento en Cemento Chimborazo.....	97
59	Efectividad del mantenimiento actual en Cemento Chimborazo.....	99
60	Representación de resultados de la situación actual de la gestión del mantenimiento.....	101
61	Diagrama de flujo de las funciones en el software de gestión de mantenimiento.....	117
62	Proceso de mejoramiento de las especificaciones de calidad de mantenimiento.....	118
63	Estructura de la función de análisis de fallas y la aplicación de herramientas.....	120
64	Estructura de la función política de mantenimiento y la aplicación de herramientas.....	121
65	Estructura de la gestión de costos y la aplicación de la herramienta LCC...	122

## LISTA DE ANEXOS

- A** Proceso de fabricación del cemento.
- B** Organigrama general de planta de Holcim Ecuador.
- C** Organigrama del área de mantenimiento de Lafarge Cemento.
- D** Organigrama de planta de Industrias Guapán.
- E** Organigrama de planta de Cementos Chimborazo.
- F** Indicadores según normalización (COVENIN 3049-93).
- G** Encuesta para el análisis y diagnóstico de la gestión del mantenimiento.
- H** Comparación de funciones de los software utilizados en la industria cementera del Ecuador.
- I** Comparación de herramientas de los software utilizados en la industria cementera del Ecuador.
- J** Comparación de factores claves en el seleccionamiento de los software utilizados en la industria cementera del Ecuador
- K** Procedimiento para la elaboración del AMEF
- L** Método de Análisis del Costo del Ciclo de Vida.
- M** Indicadores de mantenimiento de clase mundial.
- N** Diagrama de decisión del tipo de mantenimiento en función de los costos
- O** Reglas, simbología y representación gráfica del árbol de fallos.
- P** Proceso de elaboración del diagrama de pareto y ejemplo.
- Q** Consideraciones sobre el costo del ciclo de vida

## LISTA DE ABREVIACIONES

AMEF	Análisis de modos y efectos de falla.
A&D	Análisis y diagnóstico.
AFNOR	Asociación francesa de normalización (Association Française de Normalisation).
AIAG	El grupo de acción automotriz industrial (Automotive Industry Action Group).
AIRR	Tasa interna de retorno ajustada (Adjusted Internal Rate of Return)
AIPE	Instituciones acreditadas de educación postsecundaria (Accredited Institutions of Postsecondary Education).
BCM	Mantenimiento orientado a los negocios (Business Centred Maintenance).
C	Calidad del control.
COVENIN	Comisión Venezolana de Normas Industriales.
CA	Compañía anónima.
CAD	Diseño asistido por computador computarizado (Computer-aided design).
Cc	Costo de mantenimiento correctivo.
CMMS	Sistema de gestión del mantenimiento computarizado (Computerized maintenance management system)
Cp	Costo de mantenimiento predictivo.
Cpr	Costo de mantenimiento preventivo.
d	Tasa de descuento
DI	Demanda de intervención.
E	Valor presente del costo de la energía
ERP	Sistemas de planificación de recursos empresariales (Enterprise Resource Planning).
GMAO	Gestión del mantenimiento asistido por ordenador o computador.
GIS	Sistemas de Información Geográfica (geographic information system).
HH	Horas por hombre.
I	Valor de la inversión inicial
INECYC	Instituto Nacional Ecuatoriano de Cemento y Concreto.
INEN	Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización.
IT	Tecnología de la información (Information Technology).
LCC	Costo del ciclo de vida (Life Cycle Cost).
MIO	Optimización Integral de Mantenimiento.
MP	Mantenimiento preventivo.
MTBF	Tiempo medio entre fallas (Mean time between failures).
MTTF	Tiempo promedio para la falla (Mean time to failure).
MTTR	Tiempo medio para reparación (Mean time to r

N	Período en estudio.
NPR	Nivel prioritario de riesgo.
NS	Ahorro neto (Net Savings).
O	Ocurrencia.
ODBC	Es un estándar de acceso a bases de datos (Open DataBase Connectivity)
OM&R	Valor presente del costo de operación, mantenimiento y reparación de rutina
OT	Órdenes de trabajo.
PCM	Planificación y control del mantenimiento.
PDF	Formato de documento portátil (portable document format).
PM	Mantenimiento de planta del software SAP (Plant Maintenance).
PLC	Controlador lógico programable (Programmable Logic Controller).
R(t)	Fiabilidad en función del tiempo.
Res	Valor presente del valor residual del sistema al terminar tiempo de servicio.
Repl	Valor presente del costo de la reposición de partes del equipo o sistemas.
RCM	Mantenimiento centrado en la confiabilidad.
R-MES	Sistema de ingeniería de mantenimiento y confiabilidad.
S	Severidad.
SA	Sociedad anónima.
SAP	Sistema, de aplicaciones y productos (System, Applications and Products).
SIR	Tasa de ahorro de la inversión (Savings to Investmet Ratio).
SP	Sistema productivo.
SPV	Factor del Valor Presente Simple.
Srl	Sociedad de responsabilidad limitada.
SQL	Lenguaje de consulta estructurado (Structured Query Language).
TFS	Tiempo fuera de servicio.
UPV	Factor del Valor Presente Uniforme.
USD	Dólares americanos.
US MIL-STD	Norma militar americana.
$\lambda(t)$	Tasa de fallos.
W	Valor presente del costo del agua, en USD.

## RESUMEN

Las funciones y herramientas definidas para el software de gestión de mantenimiento, se ajustan a los requerimientos de la industria cementera ecuatoriana, así como las características de los factores claves que son utilizados para el diseño y selección de aplicaciones informáticas.

El software definido de tipo CMMS está enfocado a optimizar las funciones de políticas de mantenimiento, gestión de costos y análisis de fallas en las plantas cementeras del Ecuador.

El desarrollo de este estudio toma en cuenta un marco teórico que ayuda en; la determinación de parámetros de la gestión del mantenimiento, utilización de software, y la definición de los principios básicos para determinar la situación actual de cada departamento. Para ello se realiza el análisis y diagnóstico de la gestión manual del mantenimiento, mediante la información obtenida en; entrevistas directas, visitas, llamadas telefónicas y vía e-mail con el personal seleccionado de mantenimiento de cada planta de producción de las cuatro empresas que conforman la industria cementera del Ecuador, las cuales son: Holcim Ecuador SA, Lafarge Cementos SA, Industrias Guapán SA y Cemento Chimborazo CA. Utilizando un muestreo intencional y la estadística descriptiva, se localiza inconformidades en aspectos de la gestión manual tales como; el mantenimiento actual y el manejo de la información técnica y de costos, por lo que se analiza y evalúa las características de las aplicaciones de tipo ERP, EAM y CMMS, usadas actualmente en las cementeras.

Sabiendo el estado de la gestión del mantenimiento asistido por computador de cada empresa, se define las funciones y herramientas para la gestión económica, control y toma de decisiones. Contribuyendo en las principales características como son; el diagnóstico de fallas, estrategias de mantenimiento, generación de informes, clasificación de intervenciones y validación de solicitudes de trabajo. De ésta manera se genera una aplicación informática competitiva, acorde con las expectativas de la optimización integral del mantenimiento, donde se garantiza el incremento de la productividad, mediante un control de la disponibilidad y eficiencia de los recursos.

El presente estudio se encomienda a los estudiantes y egresados de las Escuelas de Ingeniería de Mantenimiento y de Sistemas de la ESPOCH, la programación y desarrollo de este software de gestión de mantenimiento de tipo CMMS con herramientas RCM, bajo los lineamientos de las funciones descritas y factores claves que conforman las características del mismo.



Created with

 **nitro**PDF professional

download the free trial online at [nitropdf.com/professional](http://nitropdf.com/professional)

## ABSTRACT

Defined functions and tools for maintenance management software, conform to the requirements of the Ecuadorian cement industry, and the characteristics of the key factors that are used for design and selection of computer applications.

The definite software, type CMMS, is focused to optimizing functions of maintenance politics, management of costs and analysis and the cement plants in Ecuador.

The development of this study has a theoretical frame which helps in the determination of maintenance management parameters, the software use and the definition of the basic principles to determine nowadays situation of every department. The analysis and diagnosis of the maintenance management manual was carried out by means of the information obtained in direct interviews, visits, telephone calls and e-mail with the chosen personnel of every plant of production from four companies that integrates the cement industry of Ecuador: Holcim Ecuador S.A., Lafarge Cementos S.A., Industrias Guapán S.A. and Cemento Chimborazo C.A. By using and international sampling and descriptive statistics, dissents are located in aspects of the international sampling and descriptive statistics, dissents are located in aspects of the manual management such as the maintenance and management of technical and cost information, therefore, the characteristics of application types ERP, EAM and CMMS used in the cement producers are analyzed and evaluated.

Knowing the state of the maintenance management, assisted by a computer of every company, the functions and tools are defined by the economic management, control and making decision, contributing in the principal characteristics like failure diagnosis, strategies of maintenance, generation of reports, classification of interventions and ratification of working requests. A computer competitive application is generated according to expectations of the integral maintenance optimization where the increase of the productiveness is guaranteed by means of a control of availability and efficiency resources.

The present study is recommended to the undergraduate and graduate students in maintenance and systems engineering at the ESPOCH, the programming and development of this software of management of maintenance type CMMS with tools RCM, under the linings described functions and key factors that integrates its characteristics.

# CAPÍTULO I

## 1. GENERALIDADES

### 1.1 Introducción

Actualmente los procesos industriales y el incremento de la producción en algunos sectores manufactureros en el Ecuador, particularmente el sector cementero, ha llevado al mantenimiento a requerir una mayor atención, como en la incorporación de nuevas tácticas de gestión que permitan lograr una mejor planificación, ejecución y control del mantenimiento. La implementación de sistemas informáticos (software), han logrado buenos resultados en varias industrias a nivel nacional e internacional formando parte de una táctica efectiva de gestión.

Pero cuando no se toman en cuenta muchos requerimientos y necesidades del proceso de mantenimiento en cada empresa, hace que los software de gestión de mantenimiento no se acoplen a los departamentos de mantenimiento y su función en el proceso productivo. Lo mismo pasa con la industria cementera del Ecuador, considerada como uno de los pilares económicos del país, lo cual tanto su producto como el proceso son de alta calidad, y el personal de mantenimiento ha recurrido a utilizar algún tipo de software que facilite las labores de planificación, programación de actividades y el control de la gestión del mantenimiento.

Para la implementación de un sistema informático en un proceso y particularmente en la gestión del mantenimiento, se necesitan determinar la situación actual, mediante una encuesta tipo auditoría para el análisis y diagnóstico del desempeño del mantenimiento.

Los resultados obtenidos de acuerdo al nivel de implementación de cada característica del desempeño del mantenimiento de dicho análisis, se relacionan con el uso de las funciones y herramientas de los software de gestión de mantenimiento.

Para lo cual, las empresas cementeras del país (Holcim Ecuador SA, Lafarge Cementos SA, Industrias Guapán SA y Cemento Chimborazo CA), no han definido las funciones y herramientas del software de gestión de mantenimiento que deberían ser implementadas en sus áreas, teniendo así la presencia de algunos problemas que han

impedido la estandarización en la utilización de este servicio, mostrando bajos resultados en la optimización de la gestión del mantenimiento.

## **1.2 Justificación**

Mediante la utilización de la información proveniente de los departamentos de mantenimiento de cada empresa que forma parte de la industria cementera en el Ecuador, se pudo encontrar una serie de problemas en cuanto a su Gestión del Mantenimiento Asistido por Ordenador u Computador (GMAO) tales como;

Falta de adaptación del programa al proceso de mantenimiento, lo cual se nota cuando el software no se aplica en Cemento Chimborazo CA, donde la utilización del software de mantenimiento distribuido por C&V Ingeniería Cía. Ltda. (SisMAC), se lo hacía por secciones divididas y prácticamente se lo deja de utilizar, entonces el área de mantenimiento buscó otras alternativas. Se ha Optando por la implementación de JD Edwards EnterpriseOne una aplicación de ORACLE Corporation, la cual es un software de Planificación de Recursos Empresariales (ERP) de mejores prestaciones en áreas administrativas, pero con deficiencias en la función de seguimiento de actividades de y herramientas de gestión de mantenimiento.

El departamento de mantenimiento de Industrias Guapán SA, si se acopló a la utilización del SisMAC, pero existe la necesidad de implementar herramientas que ayuden en el análisis de fallas, y en la optimización de plan o planificación del mantenimiento.

El software IBM Maximo Asset Management de IBM Corporation, utilizado por Lafarge Cementos SA, y como la mayoría de aplicaciones ERP, no poseen herramientas de estudio del tipo de intervenciones y adecuaciones correctivas, lo cual es importante determinar en función de las fallas en cada equipo o componente.

La aplicación SAP PM el cual es un submodulo de SAP R/3, un ERP utilizado en Holcim Ecuador SA, aplica el módulo Mantenimiento de Planta (PM), que no tiene herramientas para el análisis de modos y efectos de fallos, que optimizan el mantenimiento preventivo con un control de las intervenciones correctivas, así como algunos Índices de gestión de mantenimiento, que son parámetros de control.

Los software GMAO o conocidos como Sistemas Computarizados para la Administración del Mantenimiento (CMMS), por lo general trabajan de manera dividida

con los ERP. Esto dificulta la gestión de costos en el ciclo de vida de todos los activos, y a menudo conduce a un aumento de los costos y la complejidad.

El alto costo de adquisición e implementación, tanto de los ERP en comparación con los CMMS, ha sido uno de los impedimentos para que las empresas cementeras cuestionen la compra de este servicio, ya que no tienen conocimiento de los verdaderos alcances al implementarse con éxito. Esto se refleja cuando las funciones de los software de gestión de mantenimiento no se acoplan a las funciones que realiza el talento humano de mantenimiento.

La investigación toma su forma, al determinar las inconformidades de cada departamento de mantenimiento, tanto con su desempeño en la gestión manual como en la informatizada. Sabiendo el estado actual de cada cementera en el desarrollo de la gestión, se comparan resultado y se definen necesidades generales. Bajo esta información, se pretende definir las funciones y herramientas para un software de gestión de mantenimiento ajustadas a los requerimientos de la industria cementera ecuatoriana. El software de mejores prestaciones con funciones personalizadas y herramientas definidas, permitirá optimizar las políticas de mantenimiento, gestión de costos y diagnóstico de fallas. Esta investigación beneficiará a cada uno de los departamentos de mantenimiento en estudio, aumentando su competitividad gracias al incremento de la confiabilidad de los equipos y sistemas.

Finalmente se pretende encomendar el desarrollo de un software de gestión de mantenimiento de tipo CMMS a las Escuelas Ingeniería de Mantenimiento y de Sistemas en la ESPOCH, bajo los lineamientos encontrados en la presente investigación, donde se espera obtener varios desarrollos de actividades interdisciplinarias.

### **1.3 Objetivos**

**1.3.1** *Objetivo general.* Definir las funciones y herramientas para un software de gestión de mantenimiento ajustadas a los requerimientos de la industria cementera ecuatoriana.

#### **1.3.2** *Objetivos específicos*

Definir los principios y generalidades teóricas que forman parte de la gestión del mantenimiento asistido por computador.

Describir brevemente la industria cementera ecuatoriana y sus departamentos de mantenimiento.

Determinar la situación actual de la gestión de mantenimiento asistido por computador en las empresas cementeras del Ecuador.

Evaluar las características de los software aplicados actualmente en cada planta cementera del país.

Realizar la definición de las funciones y herramientas para un software de gestión de mantenimiento ajustadas a los requerimientos de la industria cementera del Ecuador.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Gestión del mantenimiento

**2.1.1** *Definición.* Según la Norma COVENIN 3049-93, a “la efectiva y eficiente utilización de los recursos materiales, económicos, humanos y de tiempo para alcanzar los objetivos del mantenimiento”. [1]

**2.1.2** *Importancia.* La importancia de la gestión de mantenimiento se basa principalmente en el deterioro de los equipos y las consecuencias que de esto radica. Debido al alto costo que supone este deterioro para las empresas, es necesario aumentar la confiabilidad, la seguridad de los equipos y de las personas.

El mantenimiento es importante porque reside en la consecución de que los Sistemas Productivos (SP) continúen desempeñando las funciones deseadas, y de esta forma contribuir a conservar las actividades productivas en la empresa. Las empresas tienen latente el reto de cómo mejorar sus actividades de gestión del mantenimiento para ser más sostenibles, trabajando en aspectos de mejoramiento del ambiente y la subsistencia de la organización, en una búsqueda continua de la excelencia. El mantenimiento como estructura de apoyo, es un centro de costos que genera interés a la empresa.

Es un hecho que, en los escenarios de hoy, las empresas en general se juegan su capacidad competitiva por la cantidad y calidad de los recursos que se comprometen en el área de mantenimiento, debido a la capacidad de ésta para generar beneficios directos al área de producción. Por tanto es importante considerar el éxito de la implantación de las estrategias y tácticas de la gestión del mantenimiento.

**2.1.3** *Implantación.* Para la implantación de una gestión de mantenimiento capaz de generar confiabilidad y seguridad total, se necesita de la aplicación de tácticas de gestión, tomando en cuenta las siguientes razones u objetivos que comprende el mantenimiento como sistema: [2]

- La disponibilidad de los equipos.
- Rebajar el costo de mantenimiento

- Modernización del sistema de gestión de mantenimiento.
- Gestión de la información a través de un software que permita compartir datos.
- Utilizar la mano de obra necesaria para garantizar los niveles de disponibilidad.
- Identificar las tareas de mantenimiento más interesantes en cada uno de los equipos.
- La información generada debe recogerse para poder analizarse y tomar las decisiones oportunas.
- Gestión de repuesto y consumibles.
- Seguridad en el trabajo.
- Repercusiones en el medio ambiente.

Para implantar con éxito un sistema de gestión de mantenimiento será necesaria la implicación de todo el personal de la empresa y proponiendo una táctica de gestión en donde se destaca, la “Optimización Integral de Mantenimiento” como la de mayor proyección, ya que plantea un enfoque global para desarrollar sus funciones en el marco de la Confiabilidad Operacional. [3]

Para ello se debe implementar cubriendo sus cuatro áreas fundamentales: Desarrollo del Talento Humano, Definición de las Estrategias, Optimización de los Activos Físicos, y Mejoramiento de los Procedimientos y Sistemas, como se muestra en la figura 1.

Se debe tener en mente el objetivo a lograr: la competitividad. La clave de la competitividad está en las metas, los objetivos, las estrategias y la cuantificación de los indicadores.

**Figura 1.** Áreas de la Optimización Integral.



Fuente. Oliverio García Palencia

La competitividad cuenta con la calidad, productividad, seguridad y el medio ambiente óptimo, pero no son suficientes si no son permanentes. Para ello se necesita del quinto factor clave de la competitividad: la Confiabilidad.

La Confiabilidad Operacional es la que faculta asegurar los cuatro factores a lo largo del tiempo y por lo tanto garantizar la disponibilidad y eficiencia de los activos físicos, alcanzando rentabilidad.

La Confiabilidad Operacional se define como una serie de procesos de mejoramiento continuo, que incorporan en forma sistemática, avanzadas herramientas de diagnóstico, técnicas de análisis y nuevas tecnologías, para optimizar la gestión, planeación, ejecución y control de la producción.

Se debe contar con la confiabilidad operacional para una adecuada implantación de la gestión del mantenimiento por ser parte de la producción. Optimizando la planificación, ejecución y control del mantenimiento.

**2.1.4** *Planificación del mantenimiento.* Se define como un método sistemático y organizado de análisis del trabajo de mantenimiento, donde se proyecta, supervisa y registran todas las actividades con el fin de mantener los equipos e instalaciones en buen funcionamiento.

Para el inicio de una correcta planificación, los equipos y las líneas de producción deben estar separados y clasificados por algún criterio sea de funcionamiento o algún otro punto de vista. Por lo general se las separa de acuerdo al nivel de criticidad que ocasiona su falla o la incidencia de fallo de un determinado equipo sobre otros o sobre la producción, asignando a cada equipo o propiedad de la empresa un código general entre las distintas áreas.

Cada organización según su tamaño puede considerar indistintamente la forma de clasificar sus equipos y propiedades, así como la conformación de un almacén propio para las actividades de mantenimiento, de lo que se establece la clasificación del stock de repuestos, implementos, sus proveedores y el tiempo de abastecimiento.

Las fuentes de información pueden ser muy diversas, desde documentos (catálogos, repuestos, historial, inventarios, etc.) hasta apreciaciones basadas en la experiencia del personal. El planificador debe calificarlas de acuerdo a la confianza o relevancia.

Se debe disponer en forma adelantada y racional los recursos físicos, económicos y el talento humano que serán usados para ejecutar las diversas actividades. Para planificar cada trabajo de mantenimiento, ya sea programado o imprevisto se deberá contestar ciertas preguntas: [4]

- ¿Qué trabajo se debe realizar?
- ¿Por qué se debe realizar?
- ¿Cómo se debe realizar?
- ¿Cuándo se debe realizar?
- ¿Dónde es útil realizarlo?
- ¿Qué repuestos, herramientas y equipos se necesitan?
- ¿Quién o quienes realizarán el trabajo?

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados como secuencia lógica de planificación, se deberá contar con una guía de procedimientos estándar, que se aplique tanto para intervenciones de equipos no planificadas (emergencias) y las planificadas pudiendo contar las fallas y averías que han perjudicado a la producción. En la planificación preventiva se generará el plan de revisiones periódicas de los equipos y de algunas de sus piezas o componentes críticos, por cada una de ellas será necesario, la solicitud de trabajo y luego su correspondiente orden.

Las órdenes de trabajo (OT) deben incluir las posibles herramientas de uso, normas para realizar el trabajo, autorización para ejecutar el trabajo y su tiempo de ejecución probable. También se debe considerar la información existente de cada equipo e instalaciones, tomando como relevante:

- Sus características,
- Problemas surgidos durante su operación,
- Repuestos,
- Programación de mantenimiento preventivo,
- Mantenimiento correctivo y emergencia.

Se debe considerar los datos que tienen que ver con los costos de mantenimiento:

- Analizar las causas de desviación de los presupuestos.
- Determinación de costos del mantenimiento.

Luego considerar los datos relacionados con las averías:

- Clasificación y consecuencias.
- Causas (seguras o probables).
- Efecto sobre los programas de mantenimiento.
- Efecto en el tiempo.

Y por último los datos relacionados a las intervenciones de mantenimiento:

- Procedimientos de solicitud y de autorización de trabajos.
- Resultados técnicos y económicos de los anteriores.
- Rendimiento.

**2.1.5 Programación del mantenimiento.** Consiste en señalar cuando se deben realizar las diferentes actividades de cada equipo, según las listas elaboradas y el procedimiento descrito.

La programación puede ser llevada a períodos anuales, semestrales, mensuales, semanales o diarios, dependiendo de la dinámica del proceso y del conjunto de actividades a ser programadas. En el caso de planificación de mantenimiento programado, generalmente los programas cubren períodos de un año. Este tipo de programas son ejecutados por el personal de mantenimiento dentro de la empresa o por entes foráneos, en el caso de actividades cuya ejecución es por contrato y los tipos de frecuencia son más comunes.

Para la programación del mantenimiento es necesario contar con un historial de intervenciones realizadas anteriormente a los equipos, tanto en forma programada o no programada, pudiendo así estimar de mejor manera el volumen de trabajos en cierto tiempo. Este historial, es en realidad una ficha de cada máquina o equipo y consiste básicamente en un informe de todas las intervenciones de mantenimiento, detallados y ordenados cronológicamente. Deberá contener el número de orden de trabajo, las fechas de solicitud y ejecución, la descripción de la tarea, el sistema revisado o fallado, los riesgos para el operario, las acciones preventivas o correctivas tomadas y las horas hombre utilizadas. Un buen programa de mantenimiento preventivo propiamente planificado puede identificar efectivamente quienes, qué, cuándo, dónde y cómo deben efectuarse las tareas de mantenimiento, como también la necesidad de mano de obra, materiales, repuestos y equipos de mantenimiento que pueden ser determinados y justificados específicamente. Para realizar un buen programa en varios equipos y con un número considerado de recursos, es necesario informatizar para poder controlar.

**2.1.6** *Control del mantenimiento.* Es la evaluación de la gestión y ejecución del mantenimiento. Asegura que los resultados que se están obteniendo en lo planificado estén lo más próximo a los objetivos establecidos.

El registro y control de tiempo de cada intervención de mantenimiento realizado, la información de las órdenes y seguimiento de trabajos del personal propio y contratado, y todos los recursos utilizados aportan a la determinación de los costos que genera el área de mantenimiento y la aplicación de indicadores de gestión, los cuales son formas de establecer los resultados para alcanzar los objetivos del mantenimiento.

**2.1.6.1** *Costos de mantenimiento.* El costo de mantenimiento es un componente del precio del producto, independientemente de la gestión del mantenimiento, por lo tanto, siempre existirán costos que se deben asumir. Se verá como influyen los gastos de mantenimiento en los costos generales de la empresa. Los costos de mantenimiento de un producto se deberán situar en torno al 5-12 % del total.

La búsqueda obstinada de ventajas competitivas, ha mostrado que el costo del mantenimiento no está bajo control y es un factor importante en el incremento del desempeño global de los equipos. Tiene cada vez más aceptación en las empresas, los grupos de asesoría y las organizaciones profesionales para el buen desempeño de la producción. En términos mundiales, el gasto en mantenimiento debe estar alrededor del 2% de los activos de la empresa generados en el año.

Los costos de mantenimiento según el tipo de intervención y en aspectos financieros, podemos agruparlos en cuatro bloques de los cuales si se realiza la suma de los costos que constituyen el costo total de mantenimiento, este costo nos dará una idea global de la gestión de mantenimiento.

Costo total de mantenimiento: es la sumatoria de los costos fijos, variables, financieros y por falla.

De donde: [5]

**2.1.6.1.1** *Costos fijos.* Conformado por el personal administrativo, el de limpieza, la mano de obra indirecta, las amortizaciones, los alquileres y el propio de mantenimiento, entre otros. En resumen están compuestos por la mano de obra necesaria para realizar el mantenimiento preventivo.

**2.1.6.1.2 Costos variables.** Conformados por materias primas, energía y los costos para el mantenimiento correctivo. El mantenimiento correctivo puede producirse por consecuencia de las averías imprevistas o por las reparaciones que se deben realizar por indicación de los otros tipos de mantenimiento.

**2.1.6.1.3 Costos financieros.** Conformados por los costos del almacenamiento de los repuestos en el almacén, necesarios para poder realizar las reparaciones. Si los repuestos son utilizados con cierta frecuencia habrá un costo financiero bajo, dado que, esta inversión contribuye a mantener la capacidad productiva de la instalación. Sin embargo, cuando las piezas de recambios tardan mucho tiempo en ser utilizadas, se está frente a un costo financiero alto, ya que no produce ningún beneficio para la empresa.

**2.1.6.1.4 Costo por falla.** Implican una mayor significación monetaria y están conformadas por las pérdidas de materia prima, descenso de productividad de la mano de obra por la realización de reparaciones por parte de mantenimiento, pérdidas de energía por malas reparaciones o por no realizarlas, rechazos de productos por falta de calidad adecuada, contaminación del medio ambiente entre otros.

**2.1.6.2 Costo óptimo de equilibrio.** Se aprecia que los costos no son independientes entre sí, sino que se relacionan directa o inversamente. Se verán incrementados los costos financieros cuando exista duplicación en las instalaciones, sistemas, máquinas o equipos, al mismo tiempo se reducirán los costos por falla.

El aumento de los costos del mantenimiento preventivo tiende a disminuir los del correctivo pero en proporciones diferentes. Los costos del correctivo no pueden estimarse con antelación, mientras que los preventivos parten de una planificación.

Un exceso en la ejecución del mantenimiento preventivo acaba por hacer descender la Disponibilidad, ya que el equipo estará fuera de servicio más de lo necesario. También habrá que analizar la posibilidad de realizar Mantenimiento Predictivo (ver anexo R), esto ayudará también a reducir el Mantenimiento Correctivo.

Este tipo de mantenimiento reduce su costo en la medida que aumentan los equipos o sistemas a controlar. Es menester establecer un equilibrio en los costos para llegar a un costo óptimo realizando una comparación entre el mantenimiento preventivo con el correctivo, se tiene en la tabla 1 que:

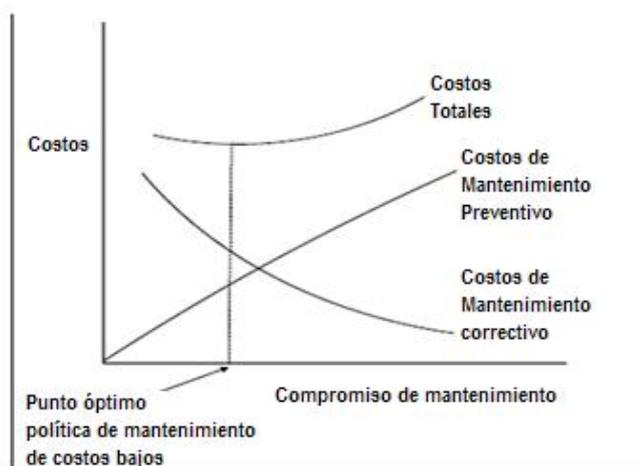
**Tabla 1.** Relación de costos entre el mantenimiento preventivo y correctivo

Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Correctivo
Mano de obra del mantenimiento preventivo (HH)	Mano de obra del mantenimiento correctivo (HH)
Mano de obra del mantenimiento programado (HH)	Repuestos para averías
Repuestos Programados	
Mano de obra indirecta (H/Servicio)	Costos de Falla
Pintura, lubricantes, etc.	
Costos financieros	Costos energéticos (H/Máquina)
Paradas para mantenimiento preventivo	Costos ambientales

Fuente. [http://ing.utralca.cl/~fespinos/francisco\\_sepulveda\\_gonzalez.pdf](http://ing.utralca.cl/~fespinos/francisco_sepulveda_gonzalez.pdf)

El objetivo del proceso de optimización de los costos del mantenimiento, es determinar los intervalos óptimos de mantenimiento, para aumentar la productividad de los equipos y minimizar el costo total del departamento. El nivel óptimo es el punto en el que los costos totales que combinan; costos por mantenimiento preventivo y correctivo, sean producto de una adecuada política en la asignación de estrategias de mantenimiento como muestra en la figura 2.

**Figura 2:** Costo óptimo de mantenimiento.



Fuente. Oliverio García Palencia

El análisis de los costos del mantenimiento preventivo (fijos o indirectos) y de los costos de mantenimiento correctivo (variables o directos), sirve para optimizar el proceso de mantenimiento, asignando el correcto tipo de mantenimiento, que establece un equilibrio en los costos por intervención, según el diagrama de decisión del anexo N.

**2.1.6.3 Indicadores del mantenimiento.** Un indicador de mantenimiento es la expresión cuantitativa del comportamiento y desempeño de un proceso, cuya magnitud, al ser comparada con algún nivel de referencia, puede estar señalando una desviación sobre la cual se toman acciones correctivas o preventivas según el caso.

Es por ello que los índices deben: [6]

- Identificar los factores del mantenimiento y su afectación a la producción.
- Dar los elementos necesarios que permiten realizar una evaluación profunda de la actividad en cuestión.
- Establecer un registro de datos que permita su cálculo periódico.
- Establecer valores que determinen los objetivos a lograr.
- Controlar los objetivos propuestos comparando los valores reales con los valores planificados.
- Facilitar la toma de decisiones y acciones oportunas ante las desviaciones que se presentan.

Existe una diversidad de indicadores para evaluar todas las actividades del mantenimiento. Pero se consideran a los indicadores de clase mundial como indispensables para la optimización de la gestión de mantenimiento en toda industria.

**2.1.6.3.1 Tiempo medio entre fallas (MTBF).** En otras palabras, el tiempo promedio en que el equipo no falla.  $MTBF = MTTF + MTTR$

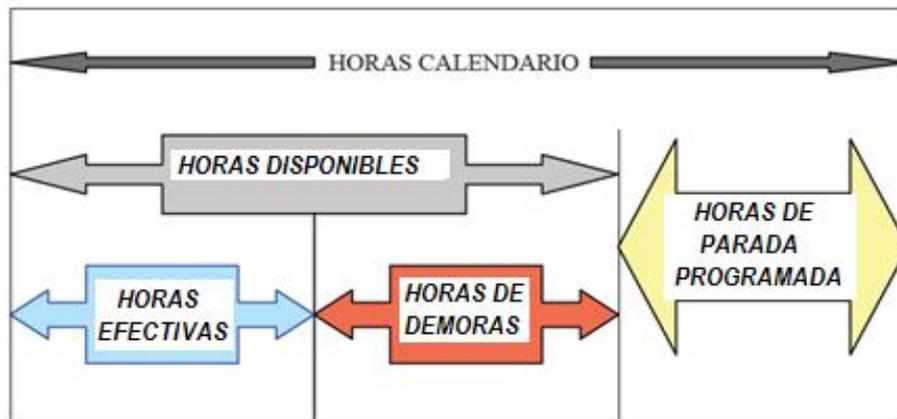
**2.1.6.3.2 Tiempo promedio para la falla (MTTF).** Es el tiempo en que se estima ocurrirá una nueva falla, considerado también el tiempo que se requiere para hacer el diagnóstico de una falla tomando en cuenta el lapso de ocurrencia de una falla en función de otra, el tiempo de reparación o sustitución no se consideran.

**2.1.6.3.3 Tiempo medio para reparación (MTTR).** Es el tiempo que se invertirá en reparar una avería, este indicador permite disminuir aún más los tiempos de parada ya que al conocer el tiempo que se va a tardar en hacer el mantenimiento se pueden realizar estudios para conocer cuáles son los materiales, repuestos, equipos, herramientas, instrumentos y personal necesario para ello, y así no divagar acerca de los recursos a utilizar para hacer una reparación. De esta manera se establece un control sobre el tiempo empleado en reparaciones.

**2.1.6.3.4 Fiabilidad.** Es la probabilidad de que un equipo cumpla una función específica bajo condiciones de uso en un período determinado. El estudio de fiabilidad es el estudio de fallos de un equipo o componente. Si se tiene un equipo sin falla, se dice que el equipo es ciento por ciento fiable o que tiene una probabilidad de supervivencia igual a uno. Si la efectividad de un equipo disminuye, es posible que éste se haga menos fiable debido a la reducción del tiempo medio entre fallas. [7]

**2.1.6.3.5 Disponibilidad.** Es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado. Si la disponibilidad disminuye, es probable que también lo hagan las horas en que el equipo produce, y por ende, se hace menos efectivo. [8]

**Figura 3.** Tiempos para Disponibilidad y Efectividad Operacional.



Fuente. Suárez Diógenes

**2.1.6.3.6 Efectividad operacional.** Puede definirse como la capacidad, que posee un equipo o sistema, de cumplir con sus funciones específicas y producir el efecto esperado. Se puede cuantificar el tiempo de producción perdido por fallas. La efectividad relaciona las horas que el equipo está produciendo y las horas que dispone para hacerlo. Esta relación se puede observar en la figura 3. [9]

- *Horas calendario;* Corresponden a las horas que un equipo está presto a cumplir la función para la cual fue diseñado, durante un tiempo determinado por la organización de mantenimiento.
- *Horas disponibles;* Son las horas en que el equipo o sistema se encuentra disponible para operar y para ejecutar reparaciones de fallas imprevistas, sean estas de mantenimiento, de operación o externas.

- *Horas de parada programada*; Son las horas en que el equipo o sistema se encuentra paralizado por ejecución de actividades incluidas en los programas de mantenimiento.
- *Horas de demora*; Son las horas en que el equipo o sistema no produce por causas imprevistas, las cuales pueden ser de tipo operacional, de mantenimiento o demoras externas.
- *Horas efectivas*; Comprenden las horas en que el equipo o sistema está apto para operar.

**2.1.6.3.7** *Mantenibilidad*. Es una medida de la facilidad con que el sistema o equipo puede mantenerse. La mantenibilidad aumenta a medida que el tiempo fuera de servicio (TFS) disminuye. Un aumento del TFS es cuanto más difícil sea realizar la tarea, trae como consecuencia elevación de las horas de parada y por ende reducción en la efectividad.

**2.1.6.3.8** *Costo de mantenimiento por facturación*. Representa el porcentaje que tiene el costo de mantenimiento con respecto al total facturado por la empresa.

**2.1.6.3.9** *Costo de mantenimiento por valor de reposición*; representa el valor que se ha gastado del equipo por concepto de mantenimiento.

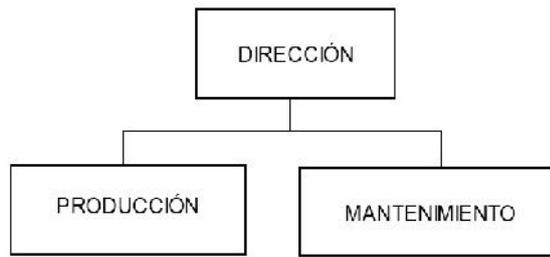
**2.1.7** *Organización del mantenimiento*. Comprende la organización del talento humano que brinda un servicio de mantenimiento, lo que se incluye a personas con conocimientos, capacidades y habilidades en las distintas áreas dentro del departamento de mantenimiento. [10]

Es importante una administración del talento humano, mediante el uso de la gestión por competencias, la cual se centra en; correcto seleccionamiento, seguimiento del desempeño y el desarrollo del capital humano. Ya que se requiere que cada una de las personas se comprometan o involucren con la misión y objetivos de la empresa. [11]

Para lo cual se requiere estructurar al grupo de personas según su aportación, pero vale la pena nombrar dos aspectos que afectan a la estructuración del mantenimiento:

**2.1.7.1** *Dependencia jerárquica*. Es posible encontrarlos con departamentos dependientes de la dirección como en la figura 4, y al mismo nivel que fabricación: ó, integrados en la producción para facilitar la comunicación, colaboración e integración.

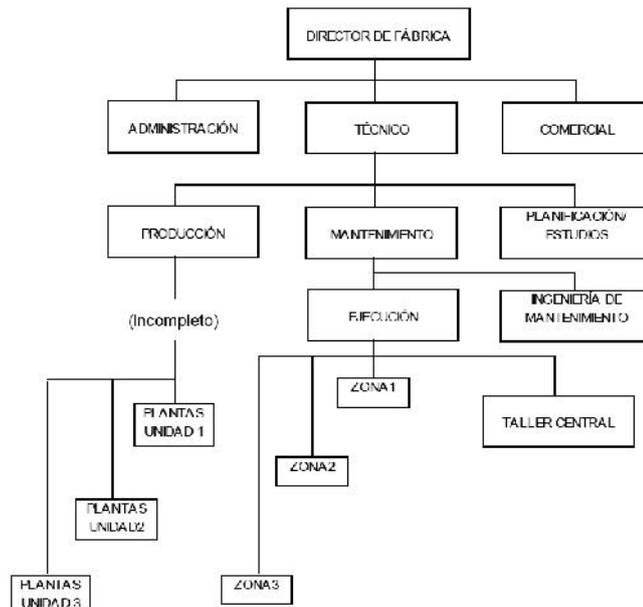
**Figura 4:** Dependencia jerárquica del mantenimiento



Fuente. Tavares Lourival

**2.1.7.2 Centralización / Descentralización.** Nos referimos a la posibilidad de una estructura piramidal, con dependencia de una sola cabeza para toda la organización ó, por el contrario, la existencia de diversos departamentos de mantenimiento establecidos por plantas productivas ó cualquier otro criterio geográfico. Por lo que se deduce un posible organigrama común entre la mayoría de industrias como en la figura 5.

**Figura 5:** Ejemplo típico de organigrama funcional



Fuente. Sacristán Francisco R.

A partir de 1966, con la difusión de las computadoras, el fortalecimiento de la organización del mantenimiento, gracias a la sofisticación de los instrumentos de protección y medición, la ingeniería de mantenimiento pasó a desarrollar criterios de predicción o prevención de fallas, con el objetivo de optimizar el desempeño de los grupos de ejecución del mantenimiento. [6]

Las actividades preventivas y predictivas ocasionaron el desmembramiento de la ingeniería de mantenimiento, que pasó a tener dos equipos:

El de estudios de fallas crónicas y el de Planificación y Control del Mantenimiento (PCM), este último con la finalidad de desarrollar, implementar y analizar los resultados de los Sistemas automatizados de mantenimiento, como es ilustrado en la figura 6.

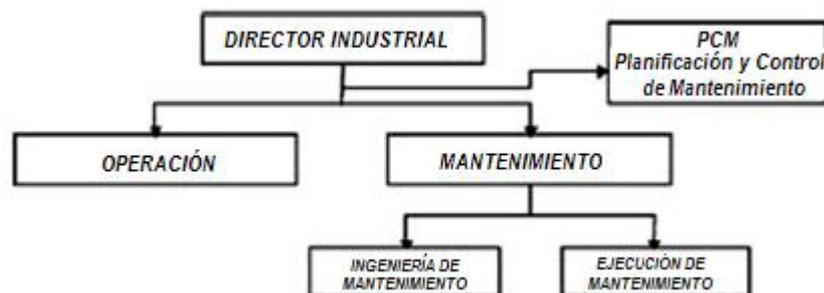
**Figura 6:** Subdivisión de la ingeniería de mantenimiento en área de estudios y PCM



Fuente. Tavares Lourival

En ciertas empresas la necesidad de informatizar el proceso de mantenimiento se volvió tan importante, que la planificación y control de mantenimiento, pasó a convertirse en un órgano de asesoramiento a la supervisión general de producción como muestra la Figura 7, ya que influye también en el área de operación.

**Figura 7:** Posición del PCM asesorando la supervisión general de producción.



Fuente. Tavares Lourival

En este final de siglo, con las exigencias de incremento de la calidad de los productos y servicios, hechas por los consumidores, el mantenimiento pasó a ser un elemento importante en el desempeño de los equipos a un grado de importancia equivalente a lo que se venía practicando en operación.

Los profesionales de mantenimiento pasaron a ser más exigidos, en la atención adecuada de sus clientes, o sea, los equipos, obras o instalaciones, quedando claro que las tareas que desempeñan, se manifiestan como impacto directo o indirecto en el producto o servicio que la empresa ofrece a sus clientes. Los contratistas que ejecutan algunas de sus tareas, la bodega o almacén que abastece los repuestos y material de uso común, el área de compras que adquiere materiales y nuevos equipos etc. Todos ellos son importantes para el sistema y proceso de mantenimiento.

**2.1.8** *Contratación del mantenimiento.* Los contratos de mantenimiento facilitan la prestación de servicios de mantenimiento preventivo en todos los sectores de la industria. Por medio de este tipo de contratos, una empresa de servicios se compromete a revisar, reparar y mantener en perfectas condiciones de uso, los equipos o instalaciones de la empresa beneficiaria. De esta forma, las empresas pueden calcular de forma previsible sus costos de mantenimiento, reciben una atención preferente y consiguen unos precios más baratos por el servicio de mantenimiento recibido. Entre las principales ventajas tenemos: [13]

- Mayor facilidad para la gestión del talento humano de mantenimiento dentro de la organización, facilidad para disponer personal propio.
- Facilidad para disponer de más y mejores medios técnicos que los que puede tener la empresa cliente.
- Mayores conocimientos y aplicación de mejores técnicas.

Un exceso en la subcontratación se convierte en una de las principales desventajas, lo cual obliga a optar por la contratación del servicio de mantenimiento de una empresa sólida y con una garantía de presentación de resultados técnicos.

## **2.2 Tipos y niveles de mantenimiento.**

Los distintos tipos de mantenimiento que hasta ahora se han comentado son resumidos en la figura 8.

**2.2.1** *El Mantenimiento Correctivo.* Efectuado después del fallo, para reparar averías.

**2.2.2** *El Mantenimiento Preventivo.* Efectuado con intención de reducir la probabilidad de fallo, del que existen dos modalidades:

- *El Mantenimiento Preventivo Sistemático.* Efectuado a intervalos regulares de tiempo, según un programa establecido y teniendo en cuenta la criticidad de cada máquina y la existencia o no de reserva.
- *El Mantenimiento Preventivo Condicional o según condición.* subordinado a un acontecimiento predeterminado.

**2.2.3** *El Mantenimiento Predictivo.* Se refiere a las técnicas de detección precoz de síntomas para ordenar la intervención antes de la aparición del fallo.

**Figura 8:** Técnicas de mantenimiento industrial.



Fuente. Sacristán Francisco R.

### 2.3 Sistema y proceso de mantenimiento

En el aspecto de organización de empresas, se puede definir un sistema como un conjunto de procesos que interactúan y se relacionan para alcanzar objetivos definidos. A su vez, los procesos son formados por un conjunto de tareas y métodos ejecutados de forma ordenada como muestra la figura 9.

**Figura 9:** Representación de un sistema de información aplicado al mantenimiento



Fuente. Tavares Lourival

Los métodos son los medios usados para el desarrollo ordenado de las tareas de un sistema, o sea, las normas, procedimientos e informaciones disponibles en la organización.

A partir de 1980, con el desarrollo de las computadoras personales a costos reducidos y lenguaje simple, los órganos de mantenimiento pasaron a desarrollar y procesar sus propios programas considerando así la Gestión del Mantenimiento Asistido por Computador y eliminando los inconvenientes de la dependencia de disponibilidad humana y de equipos, para atender las prioridades de procesamiento de la información a través de una computadora central, además de las dificultades de comunicación en la transmisión de sus necesidades hacia el analista de sistemas, no siempre familiarizado con el área de mantenimiento. Sin embargo, es recomendable que esas computadoras sean asociadas a una red, posibilitando que su información quede disponible para los demás órganos de la empresa y viceversa.

## **2.4 Gestión del mantenimiento asistido por computador.**

**2.4.1** *Definición.* Es una herramienta que ayuda en la gestión de los servicios de mantenimiento de una empresa.

Básicamente es un software compuesto por una base de datos que contiene información sobre la empresa y sus operaciones de mantenimiento y es denominada sistema de mantenimiento administrado.

Las plataformas de gestión del mantenimiento asistido por computadora pueden ser utilizadas por cualquier organización que necesite gestionar el mantenimiento de sus equipos, activos físicos y propiedades. Se provee un conjunto de archivos a través de una verdadera biblioteca electrónica de datos, donde da apoyo a la acción y toma de decisiones en; la planificación, programación y control en toda la escala jerárquica de la estructura organizativa del mantenimiento, a través de módulos operativos e indicadores de gestión. En la práctica, se trata de un Programa Informático (Software), que permite la gestión de mantenimiento de los equipos y/o instalaciones de una o más empresas, tanto mantenimiento correctivo como preventivo, predictivo, etc.

La gestión de mantenimiento asistido por computador (GMAO) es también llamado (CMMS), de las siglas en inglés Computerized Maintenance Management System.

**2.4.2** *Descripción de un sistema informático.* Es un conjunto de elementos que interactúan entre sí con el fin de apoyar las actividades de una empresa o negocio. Estos elementos son de naturalezas diversas y normalmente incluyen: [14]

- El equipo computacional, (hardware).
- El recurso humano que interactúa con el sistema de información.
- Los datos, o información de la fuente, que son introducidos al sistema.
- Los programas que son procesados y producen diferentes tipos de resultados, (software).
- Reglas de decisión y procedimientos para tratar la información.

La aplicación de sistemas informáticos dentro de una empresa es primordial para el funcionamiento de la misma y entre los sistemas más importantes, se encuentra el de gestión de mantenimiento. La principal aplicación de los GMAO es optimizar el mantenimiento preventivo mejorando la planificación, de donde comprende en:

- Planeamiento.
- Programación.
- Control.
- Costeo.

Por lo tanto sus prestaciones serán:

- Técnicas
- Económicas
- Administrativas

**2.4.3** *Ventajas de la implementación de un sistema informático*

- Elimina pérdidas de tiempo por demoras burocráticas, ya que las órdenes de servicio de actividades programadas pasan a ser emitidas por la propia computadora.
- Facilita la presentación y rapidez en la emisión de esos reportes. A través del programa, los reportes pueden ser emitidos bajo varias formas (cronológica, secuencial numérica, secuencial alfabética, etc.) y de manera más concisa o detallada, de acuerdo con la finalidad.
- Agiliza y torna más confiable la composición de tablas y gráficos. Esta ventaja también es consecuencia del proceso.

- Hace más dinámica la respuesta a las consultas específicas sobre los datos históricos de mantenimiento.
- A través de programas específicos, la computadora puede mantener permanentes comparaciones entre parámetros preestablecidos con datos de las órdenes de servicio y emitir reportes históricos.
- Acelera y facilita el intercambio de informaciones entre el área de mantenimiento y otras áreas de la empresa.

#### 2.4.4 *Desventajas con relación al sistema de control manual*

- Implica un aumento en los costos y plazos de implementación con respecto a los controles manuales.
- Demanda mayores cuidados en cuanto al entrenamiento del personal responsable por el suministro de los datos.
- Requiere mayor participación de los supervisores en la evaluación de los datos de entrada y en el análisis de los reportes de salida. El análisis es justificado por la alta inversión de implementación, por la expectativa generada con la utilización de un proceso más sofisticado que cuenta con mayores recursos.
- Es menester contar con personal con experiencia en análisis de sistemas, ya que si no es así puede conducir a grandes dificultades de relación y entendimiento en cuanto a las necesidades de los usuarios, acarreando mayores gastos y demoras para la obtención de prioridades de los resultados.
- Provoca perjuicios más serios en casos de alteración de proyecto. Como el sistema automatizado es fundamentado en programas, formularios y archivos que constituyen bancos de datos, con problema serio de pérdida de archivos histórico.
- Requiere de un levantamiento de datos catastrales de los equipos, repuestos y correlación con los equipos, identificando aquellos que son de uso común y de usos específicos.
- Selección y establecimiento de un patrón, o de una terminología única de mantenimiento que debe ser válida para todas las áreas de la empresa y si es posible, común a empresas del mismo género.

**2.4.5** *Funciones de los software de gestión de mantenimiento.* Antes de la descripción de las funciones de los GMAO, es recomendable tomar en consideración las funciones habituales en los departamentos de mantenimiento como: [15]

- Planificación de actividades de mantenimiento.
- Documentación de las incidencias, averías, etc. Formación de historial o bitácora.

- Programación de las actividades de mantenimiento.
- Control de stocks de repuestos y recambios, conocido como gestión de repuestos.
- Generación y seguimiento de las órdenes de trabajo para los técnicos de mantenimiento.
- Control de costos e índices de mantenimiento.
- Generación de reportes.

La gestión asistida por computador debe poder relacionar datos entre sí, a fin de que el usuario pueda navegar fácilmente por la información, de modo que el software se acople a las funciones habituales de los departamentos de mantenimiento. Para lo cual las funciones principales de un software de gestión del mantenimiento son:

**2.4.5.1** *Funciones propias al personal de intervención.* Entre las principales funciones propias de intervención tenemos; la codificación de los equipos, la documentación técnica, historiales y repuestos.

**2.4.5.1.1** *Codificación de equipos.* El código de un equipo permite relacionarlo con los otros tipos de información disponibles tales como: repuestos, planes, planos, documentos, historial.

**2.4.5.1.2** *Documentación técnica.* Este tipo de información debe ser disponible para todos, fácil y rápida. Datos indispensables:

- Datos de identificación: constructor, tipo, datos de placa, fecha de instalación, etc.
- Lista de planos y esquemas,
- Lista de piezas de repuestos, con sus códigos (propios y del constructor),
- Planes de mantenimiento previstos

**2.4.5.1.3** *Historial.*

- Solicitudes de intervención
- Modificaciones
- Informes técnicos

**2.4.5.1.4** *Repuestos.*

- Código

- Costo unitario
- Cantidad disponible
- Ubicación
- Repuestos alternativos
- Etc.

**2.4.5.2** *Funciones propias a planificación.* Entre las principales funciones propias a la planificación tenemos; seguimiento de actividades, preparación de intervenciones y planificación de intervenciones.

**2.4.5.2.1** *Seguimiento de actividades*

- Registro de solicitudes de intervención,
- Seguimiento en el tiempo,
- Planificación,
- Compras directas necesarias
- Coordinación con paradas de producción de equipos
- Procedimientos de seguridad
- Calificaciones y herramientas necesarias para realizar el trabajo

**2.4.5.2.2** *Preparación de intervenciones.* La preparación de intervenciones debe permitir optimizar los costos al lograr una mejor organización de actividades. Los siguientes datos deben ser accesibles:

- Arborescencia de equipos
- Repuestos
- Procedimientos
- Consignas de seguridad
- Contratistas

Estimar el tiempo de intervención para planificar y distribuir cargas entre el personal.

**2.4.5.2.3** *Planificación de intervenciones.* Se debe poder gestionar:

- Disponibilidad de las instalaciones por producción
- Nivel de criticidad
- Cargas de trabajo posibles
- Contratistas

### 2.4.5.3 *Funciones propias a la gestión:*

- *Gestión de costos.* Desglosar por equipo los costos en variables de intervención, Desglosar por equipo los costos por la naturaleza de las intervenciones y fijos.
- *Gestión de bodegas.* Minimizar manteniendo la calidad del servicio, conociendo las tasas de rotación, consumos, precios unitarios, proveedores, etc.
- *Análisis de gastos y presupuesto.* Comparación entre gastos efectivos y los previstos.
- *Seguimiento de contratistas.* Por proveedor, por naturaleza de trabajos, por volumen de negocios con la empresa. Revisar los contratos.

### 2.4.6 *Análisis de funciones de los software de gestión de mantenimiento:* [16]

**2.4.6.1 *Trabajos.*** Se refiere a las características de las funciones propias de la planificación.

**2.4.6.1.1 *Solicitud de trabajo.*** Inicia con la determinación de la necesidad para la intervención del mantenimiento. Puede ser originada de cualquier área que requiera el servicio dentro del sistema productivo, describiendo el problema, la ubicación y el responsable de la solicitud. Por lo general las actividades no rutinarias son las que entran en la programación de esta función.

Las actividades o tareas rutinarias tales como lubricaciones, limpiezas y revisiones diarias por parte del personal operativo no necesitan de la ejecución de la solicitud de trabajo, pero es de suma importancia llevar su control mediante la gestión de trabajos.

La solicitud es analizada con respecto a los trabajos en ejecución y el plan preventivo. En algunos casos se requiere de una solicitud de presupuesto o de una licitación. Si la solicitud es rechazada ello queda registrado y el solicitante es informado.

La solicitud de intervención debe imperativamente identificar:

- Código del equipo
- Fecha y hora del incidente
- Descripción sumaria o código de incidente

El estado de una solicitud puede ser:

- En espera
- Rechazada
- Transformada en orden de trabajo

La lista de solicitudes es consultable según varios criterios:

- Por prioridad
- Por equipo
- Por sector
- Por tipo de avería

Al seleccionar un equipo se aprecia la lista de solicitudes ya registradas en el pasado.

**2.4.6.1.2 Órdenes de trabajo.** Son resultado de la aprobación de una actividad originada en la solicitud de trabajo y también de actividades emergentes. Las actividades programadas en el mantenimiento preventivo también crean órdenes de trabajo y se las planifica. Para la iniciación de la orden de trabajo, se comienza con su preparación, se toma en cuenta las actividades realizadas en el historial ya que se documenta la información recopilada en la base de datos.

Para la realización de este documento, es necesario establecer su procedimiento, por lo que la calificación, los proveedores, la subcontratación y las herramientas especiales deben estar definidos para su aprobación. [17]

En la figura 10 se puede evidenciar esta función. En caso de errores, la orden de trabajo debe ser modificada para su aprobación. Cuando la OT esté preparada y lista para su ejecución, esta generará una necesidad de compras, y por ende de una gestión de artículos. Por otro lado, la orden preparada puede esperar su ejecución y generar una bolsa o portafolio de trabajos pendientes, que de igual manera serán planificados y gestionados. Al seleccionar un equipo se aprecia la lista de OTs ya registradas en el pasado.

Una OT debe especificar:

- Mano de obra por categoría
- Repuestos y herramientas necesarias
- Documentos a consultar
- Procedimientos de ejecución

- Tiempo de intervención estimado
- Prioridad otorgada
- Restricciones de ejecución

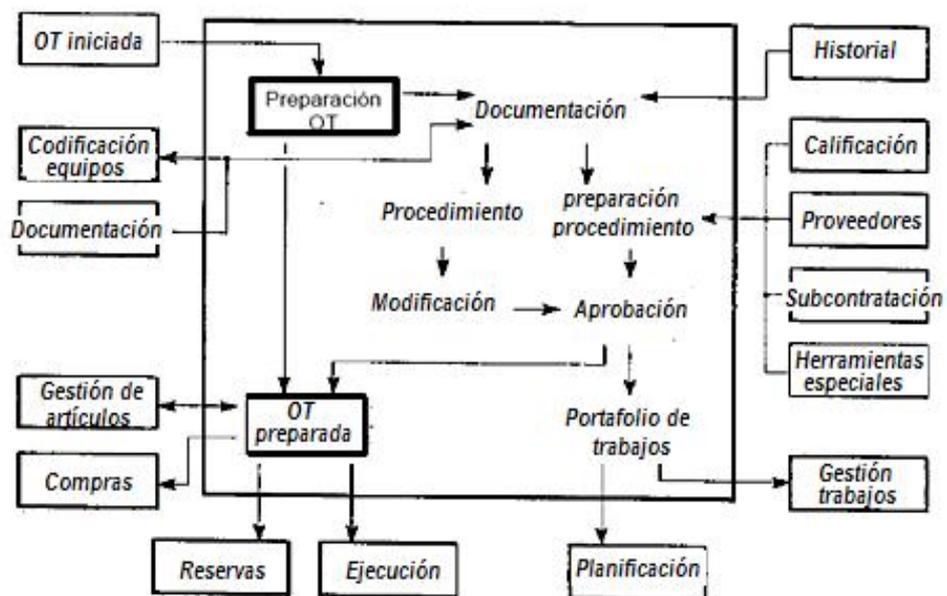
El procedimiento contiene por equipo y subconjunto:

- Fases de la intervención
- Calificaciones profesionales
- Tiempo estándar
- Consumo de repuestos por operación
- Herramientas
- Documentación
- Consignas de seguridad

A su vez la orden de trabajo puede estar en los siguientes estados:

- En espera
- Planificada
- En evolución
- Terminada técnicamente
- Terminada administrativamente

**Figura 10:** Estructura de las órdenes de trabajo



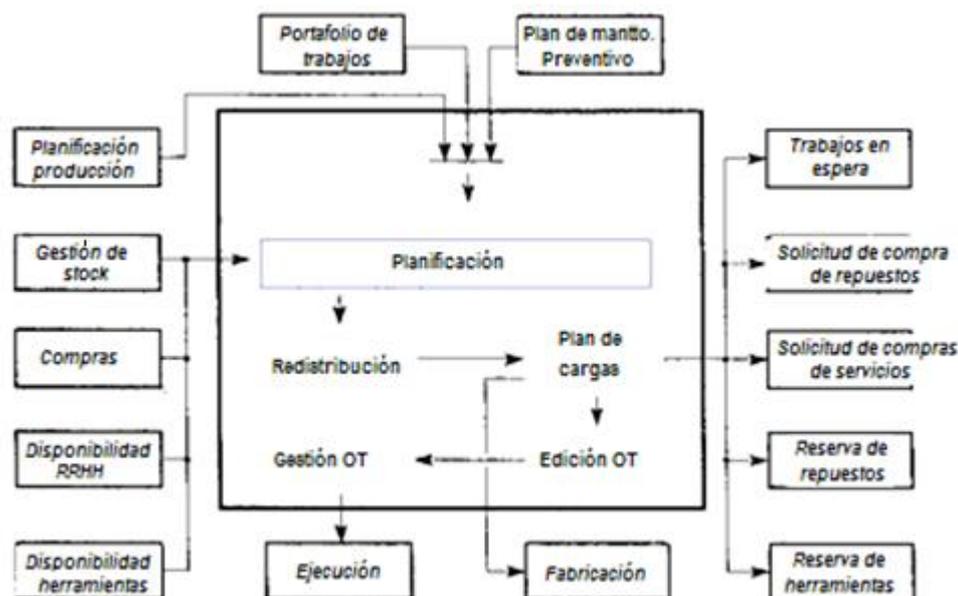
Fuente. Pascual Rodrigo J.

**2.4.6.1.3 Planificación de trabajos.** A partir de la información de las OTs reservadas en el portafolio de trabajos y los requerimientos de intervención según el plan de mantenimiento preventivo y de producción, nace la necesidad de planificar los trabajos con el fin de optimizar los recursos. Para la planificación se necesita de la información generada en gestión de almacén (Stock), compras, talento humano y la disponibilidad de herramientas, esto se puede evidenciar en la figura 11.

Una vez planificado las actividades se redistribuye el trabajo para su ejecución, pero antes de hacerlo se corrobora que todos los recursos estén disponibles caso contrario se desarrolla un plan de cargas que ayude a agilizar el movimiento de los trabajos en espera, la solicitud de compra de repuestos, las compras de servicios y la reserva de repuestos y herramientas.

Al faltar uno de los recursos se puede editar la OT y gestionar su aprobación, pudiendo así enviarla a su ejecución en caso de que la OT esté completa y con todos los recursos disponibles.

**Figura 11:** Estructura de la planificación de trabajos



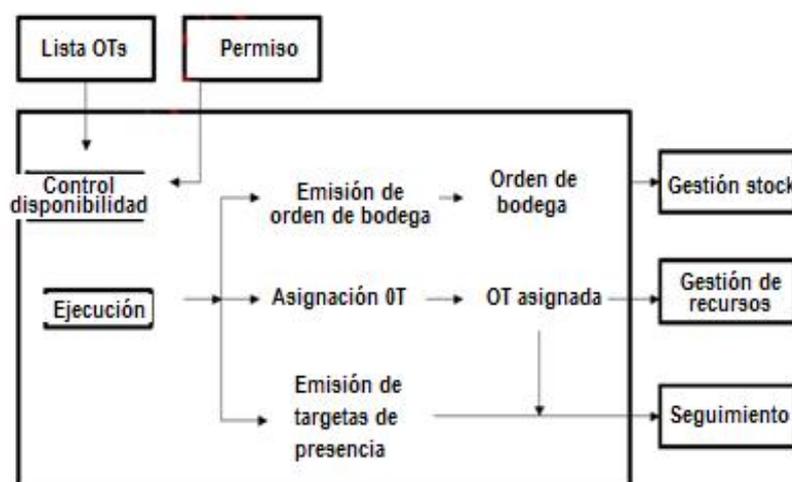
Fuente. Pascual Rodrigo J.

**2.4.6.1.4 Ejecución de trabajos.** Para la ejecución de una actividad de mantenimiento es necesario contar con la orden de trabajo realizada y aprobada. Luego de que se haya efectuado el permiso será necesario establecer la disponibilidad del equipo o sistema a intervenir. Cada ejecución de trabajo demanda un seguimiento de actividades que

mediante una emisión de tarjeta de presencia, controle el desempeño y la asistencia del personal de ejecución. Lo mismo pasa con los recursos materiales y económicos que son gestionados.

Es muy importante controlar el proceso por lo que el seguimiento de la ejecución del trabajo es trascendente, para llevar una correcta gestión de stock y de recursos, como se puede observar en la figura 12.

**Figura 12:** Estructura de la ejecución de trabajos



Fuente. Pascual Rodrigo J.

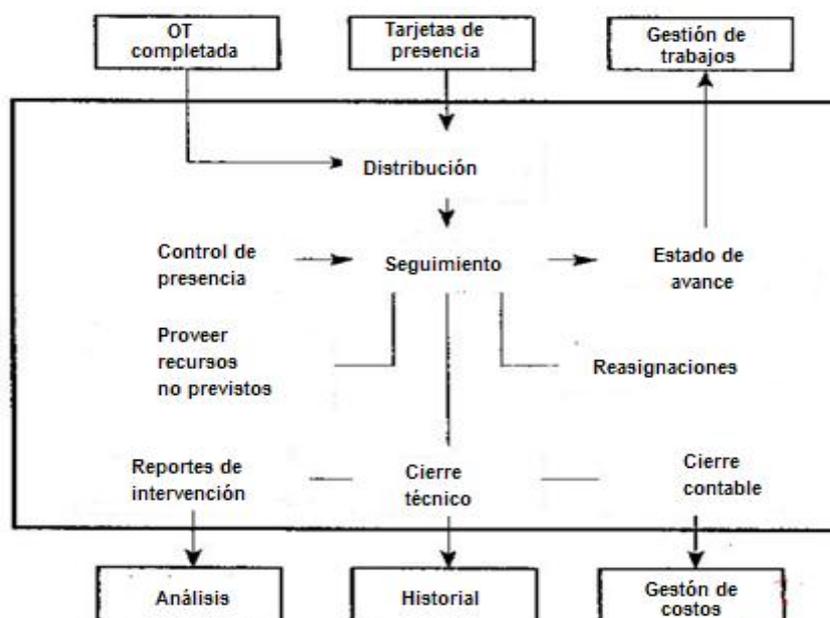
**2.4.6.1.5 Seguimiento de trabajos.** Se puede realizar mediante tarjetas o registros de presencia (código de barras). El seguimiento permite controlar desviaciones respecto al plan y la redistribución de recursos. Al terminar el trabajo, se completa el reporte técnico de intervención que incluye principalmente el tiempo de detención del equipo.

El reporte incluye los sub-reportes de utilización de recursos. La clausura técnica pone fin a la intervención técnica y permite re operar el equipo. La clausura administrativa se pronuncia cuando la OT ha sido cerrada y las facturas recibidas.

El seguimiento de las órdenes de trabajo permite establecer exactamente el número de trabajos pendientes, creando también un registro de trabajos de emergencia y programados. Además se establece un control sobre las horas extras necesarias para terminar trabajos como también la demora en hacer efectivo el mantenimiento, comparando el tiempo real con el tiempo estipulado en las órdenes de trabajo. Se

considera entonces que la OT se archive. La estructura del seguimiento de trabajo se puede explicar en la figura 13.

**Figura 13:** Estructura del seguimiento de trabajos



Fuente. Pascual Rodrigo J.

**2.4.6.1.6** *Gestión de trabajos.* La gestión de trabajos cubre lo siguiente:

- Trabajos con OT
- Trabajos con OT abierta
- Trabajos sin OT: intervenciones de urgencia, trabajos de mantenimiento preventivo sin OT, intervenciones de contratistas sin OT, mantenimiento subcontratado, taller de mantenimiento

**2.4.6.2** *Gestión de almacén y compras (Stock).* En esta función se tomará en cuenta la existencia de los recursos materiales en bodega, de allí las necesidades y los pedidos que las órdenes de trabajo originen para la ejecución de la actividad. La recepción de bodega de los diferentes recursos se da en torno a las solicitudes de compras y a los pedidos de intervención de mantenimiento. Todos los recursos materiales en reserva y que entran en bodega, se sujetan a un control de calidad para establecer su transferencia entre bodegas, estableciendo su flujo mediante una gestión y control presupuestario, lo que se puede evidenciar en la figura 14. Para cada repuesto se debe disponer de la siguiente información:

- Codificación
- Los valores máximos, mínimos y de seguridad
- Demora promedio en reaprovisionar
- Cantidad que se usa en todos los equipos
- Valor estándar, promedio, ultima compra
- Estado: disponible, reservado y aprobado, reservado, no aprobado, en control de calidad, comandado, fecha de llegada estimado y en transferencia

Los equipos rotatorios (por ejemplo los motores eléctricos) son manejados en bodega. El sistema indica si están en reparación así como la fecha prevista de disponibilidad. Las salidas de repuestos se hacen por una orden de trabajo o directamente a un centro de costos. Todo movimiento es registrado.

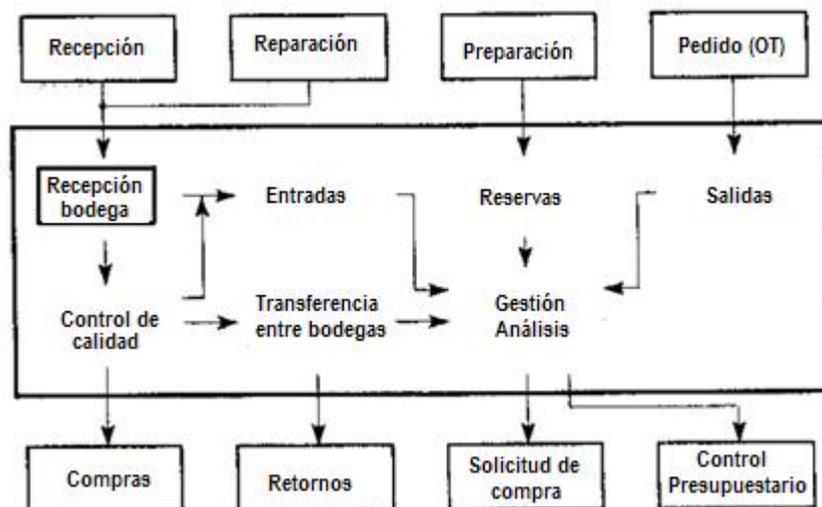
El análisis de gestión de repuestos se realiza a través de indicadores:

- Costo de posesión
- Número de artículos
- Tasa de rotación (valor anual usado/valor del stock).

El análisis provee:

- Lista de artículos sin movimiento
- Clasificación ABC.

**Figura 14:** Estructura de la ejecución de almacén y compras



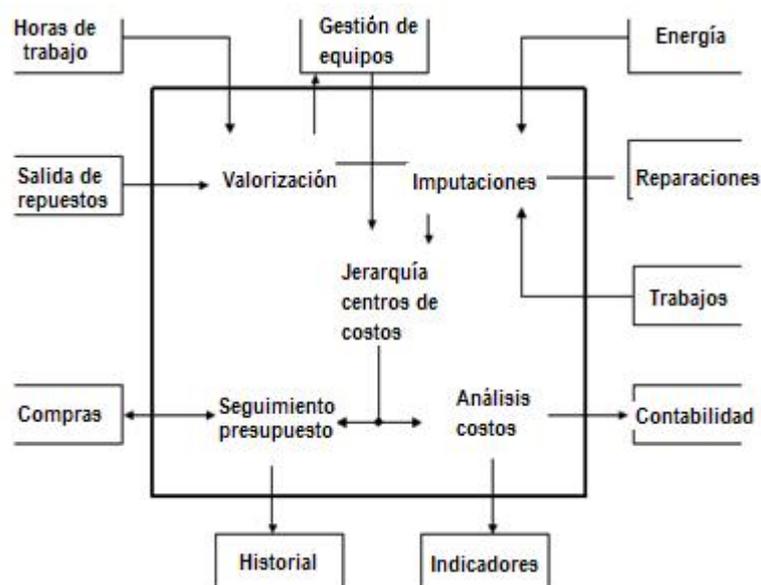
Fuente. Pascual Rodrigo J.

**2.4.6.3 Gestión de costos.** Las horas de trabajo y las salidas de repuestos son valorizadas debido a la gestión de equipos, de donde estos costos se distribuyen en una jerarquía de centros de costos. El costo proveniente de un equipo en una cierta jerarquía, se agrega a los costos de jerarquías superiores que contengan al equipo.

Las imputaciones o atribuciones de los costos generados por los trabajos realizados, el consumo de energía y las reparaciones, son también jerarquizadas en el centro de costos, los cuales son analizados en contabilidad y se realiza un seguimiento de presupuesto, para asignar las compras y guardar la información en el historial, ayudando a la gestión económica, como se observa en la figura 15.

En algunos GMAO la noción de centros de costo no existe: los costos se registran a nivel de OT y se sintetizan en los reportes. Un seguimiento presupuestario debe poder ser efectuado a nivel de cada equipo.

**Figura 15:** Estructura de la gestión de costos



Fuente. Pascual Rodrigo J.

**2.4.6.4 Elementos de decisión:** Se refiere a funciones de control del mantenimiento.

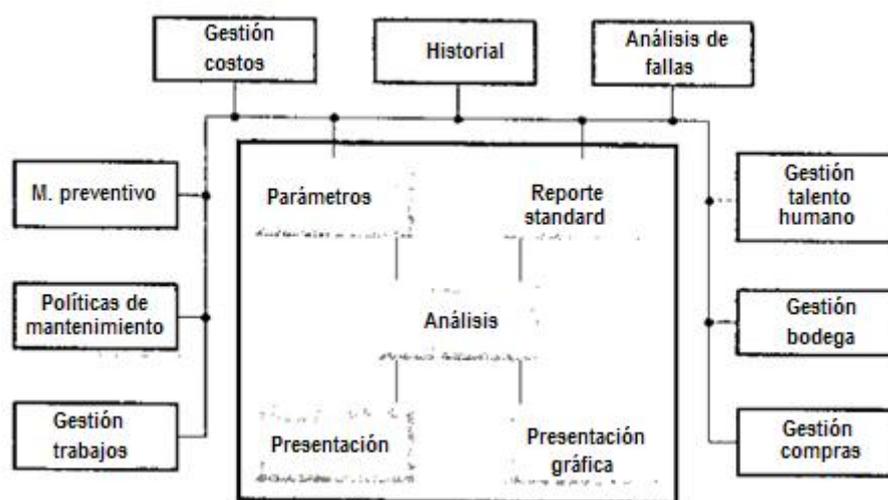
**2.4.6.4.1 Control de indicadores.** Todos los software de gestión de mantenimiento proponen una lista de indicadores y reportes. En ocasiones son insuficientes en otras innecesarias, por tanto es necesario generar reportes personalizados para cada organización, de donde un generador de reportes es bienvenido. Las características

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

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

Existe una relación estrecha entre los indicadores y todas las aplicaciones que el software de gestión de mantenimiento administre. Es así que se crea la necesidad de establecer parámetros y estandarización en los reportes, para que el análisis de los indicadores se resuelva en la presentación de resultados como se puede evidenciar en la figura 16.

**Figura 16:** Estructura del control de indicadores



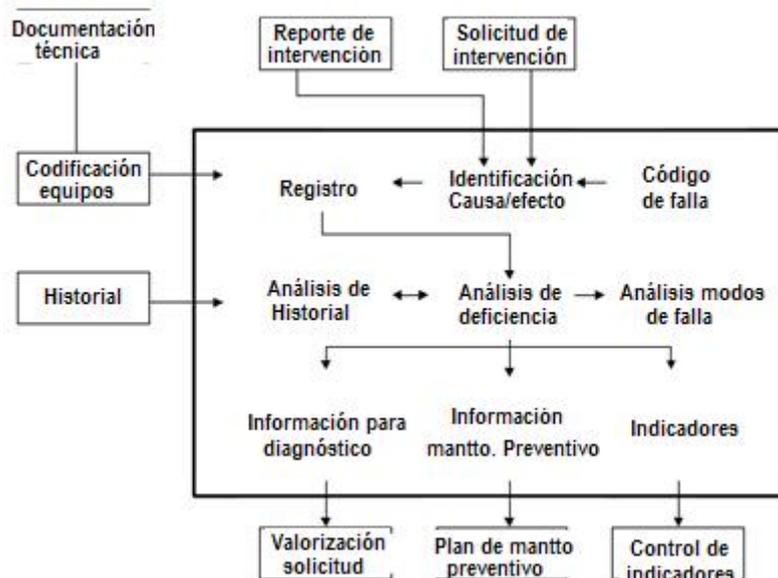
Fuente. Pascual Rodrigo J.

**2.4.6.4.2 Análisis de fallas.** Se incluyen anomalías, incidentes, fallas, disfunciones, averías, etc. La deficiencia se declara en la solicitud de trabajo. Se agrega la causa y los efectos provocados, que pueden estar catalogados y jerarquizados.

Después de superar la deficiencia se enriquece el análisis con la causa encontrada y el remedio aplicado. Para los códigos de falla es importante separar las causas internas o externas al equipo. Las causas generadas en los códigos de falla por equipos son identificadas de manera puntual, ya sea por sistemas, subsistemas o componentes. De lo

que se registra gracias a la documentación y codificación de los equipos. Para el análisis de las deficiencias, tanto de la información registrada de los fallos de los equipos, como el análisis del historial, se necesita determinar el estudio del modo de falla, para que de esta manera se genere la información para diagnóstico y validar la solicitud de intervención. Como también me permita planificar el mantenimiento, de igual manera generar el control de indicadores de gestión tal como muestra la figura 17.

**Figura 17:** Estructura del análisis de falla



Fuente. Pascual Rodrigo J.

#### 2.4.6.4.3 *Historial*. Un historial útil debe ser:

- Suficientemente conciso,
- Preciso, evitando el abuso de abreviaciones
- Que permita analizar información completa a partir de índices históricos (comprimir la información).

El historial incluye:

- Los incidentes acaecidos desde la instalación,
- Las intervenciones correctivas efectuadas,
- Las mejoras efectuadas.

Lo importante es guardar aquella información que ayude al diagnóstico y a la gestión económica del equipo.

**2.4.6.4.4 Política de mantenimiento.** La política de mantenimiento se ajusta en función de los indicadores, siempre en la búsqueda de:

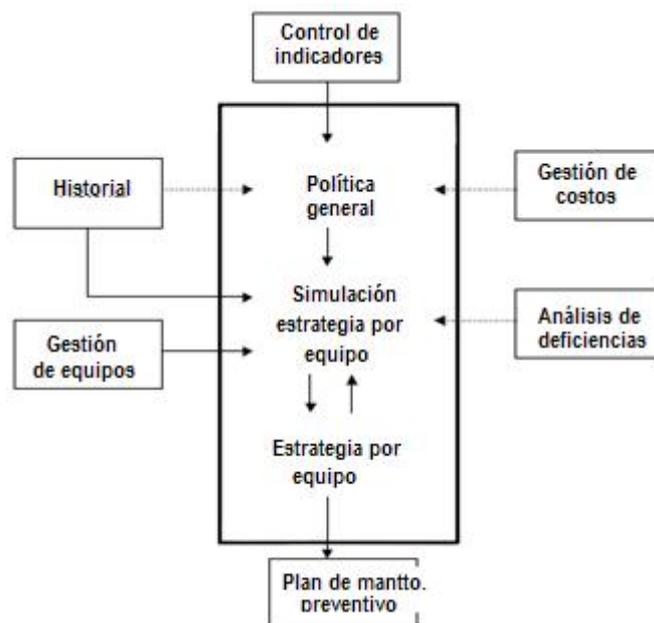
- Disponibilidad máxima,
- Costo de mantenimiento mínimo,
- Búsqueda del valor óptimo de la razón disponibilidad/costo.

Con lo que se define la estrategia de mantenimiento para cada equipo. Una estrategia es la combinación de:

- Tipo de mantenimiento; preventivo, predictivo, correctivo
- Periodicidades
- Niveles para indicadores

Para una política general importante se considera la información que facilite la toma de decisiones. Para empezar, se realiza el control de los indicadores que reflejan la gestión del mantenimiento, así como la gestión de costos y un estudio de toda la línea productiva por parte del historial como se puede mostrar la estructura en la figura 18. Para la simulación de estrategias por equipos se toma en cuenta el historial por equipo, el análisis de deficiencias y la gestión de equipos.

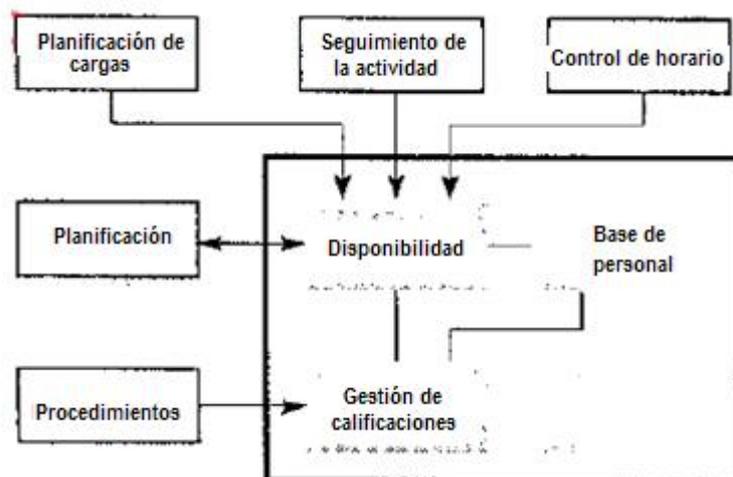
**Figura 18:** Estructura de las políticas de mantenimiento



Fuente. Pascual Rodrigo J.

**2.4.6.5 Talento humano.** Se establece la gestión del talento humano en una base de datos conformada por personal del área o servicio de mantenimiento, la cual para el reclutamiento de las personas, se requiere generar una gestión de calificaciones, en la que se pueda contar con el personal idóneo para ser tomado en cuenta en la planificación de las actividades de mantenimiento. Para asignar al personal calificado una actividad, se debe revisar el estado de disponibilidad del personal, mediante un seguimiento de la actividad, control de horarios y la planificación de cargas como se muestra en la figura 19. Es importante considerar el mejoramiento de la confiabilidad humana para lograr la integración de varias estrategias. En la calificación del personal se debe incluir 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 avance del mantenimiento, con el fin de asegurar la competitividad, efectividad y poder preservar el conocimiento de la organización, mediante la capacitación continua.

**Figura 19:** Estructura del talento humano



Fuente. Pascual Rodrigo J.

Cada compañía de programación dedicada a la distribución del software de gestión de mantenimiento, desarrolla más ampliamente algunas funciones incluyendo herramientas adicionales para cubrir un mayor número de necesidades. Para la ejecución de las funciones e interactuar la información es necesario considerar que en la actualidad, muchos programas de gestión de mantenimiento han integrado herramientas de gestión a nivel industrial. Pero la mayoría de los casos son aplicados en paquetes independientes que se enlazan con las funciones del software, interactuando información de los recursos de mantenimiento, lo cual son un apoyo para su optimización.

**2.4.7 Herramientas utilizadas para la gestión del mantenimiento asistido por computador.** Tanto las herramientas que se aplican en la ingeniería de confiabilidad como las técnicas para la toma de decisiones en la gestión de activos, son utilizadas para la gestión del mantenimiento. Considerando a las herramientas como recursos que se usan para tratar datos y convertirla en información que optimice las características de las funciones tales como; indicadores de gestión, historial, análisis de fallas y políticas de mantenimiento.

Las herramientas de los GMAO más utilizadas por los programadores de software son:

- Herramientas para el control y mejora del proceso de mantenimiento.
- Herramientas para la consolidación de datos y toma de decisiones.; Análisis de modo y efecto de fallo (AMEF), Árbol de fallas y Diagrama de Pareto.
- Herramienta para gestión económica; Costo de ciclo de vida.

**2.4.7.1 Herramientas para el control y mejora del proceso de mantenimiento.** Esta herramienta está orientada a definir una política general de mantenimiento, además de establecer el control de trabajos y costos en el departamento. Los software de gestión de mantenimiento, analizan la información obtenida y presentan los resultados, de manera que se muestran en ventanas de diálogos, con opciones a exportar, imprimir, editar, etc.

Estos indicadores básicos de gestión vienen expresados en:

- Porcentajes,
- Promedios.
- Razones a una fecha o por un periodo de tiempo.
- Tendencias (creciente, decreciente).
- Aumentos o disminuciones (crecimiento).
- Diferencias respecto a estándares.
- Índices.
- Combinación de las anteriores.

La información necesaria para el cálculo de la mayoría de los indicadores de gestión se obtiene gracias a una base de datos conformada por las intervenciones o actividades de mantenimiento en los equipos. La información es utilizada por cada una de las funciones tales como; gestión de trabajos, políticas de mantenimiento, gestión de costos, historial, análisis de fallas, recursos o talento humano, gestión de bodegas y compras.

Debido a la utilización de modelos matemáticos y estadísticos que son procesados para la obtención de indicadores, se necesita considerar la utilización de un software o aplicación informática perteneciente a éste. En donde se desarrollan herramientas de gestión de mantenimiento para el cálculo y representación de indicadores que controlan y mejoran el proceso de mantenimiento. Las herramientas pueden presentar un análisis de la información, generando reportes y gráficos en una interfaz con el usuario.

Para presentar los resultados de los indicadores de gestión, es recomendable que los usuarios de los software de mantenimiento, puedan observar la información básica para realizar el control mediante la elaboración de reportes. Sin embargo se deben aplicar por lo menos los indicadores de clase mundial y los que se considere de importancia de los índices para la evaluación de la función de mantenimiento. La norma venezolana COVENIN 3049-93 (anexo 6) se aplica con frecuencia en Latinoamérica, dando muy buenos resultados en muchos sectores industriales, especialmente a la industria manufacturera.

Los indicadores recomendados para aplicar en los GMAO son los siguientes:

#### **2.4.7.1.1** *Indicadores de clase mundial.* Ver en el anexo M.

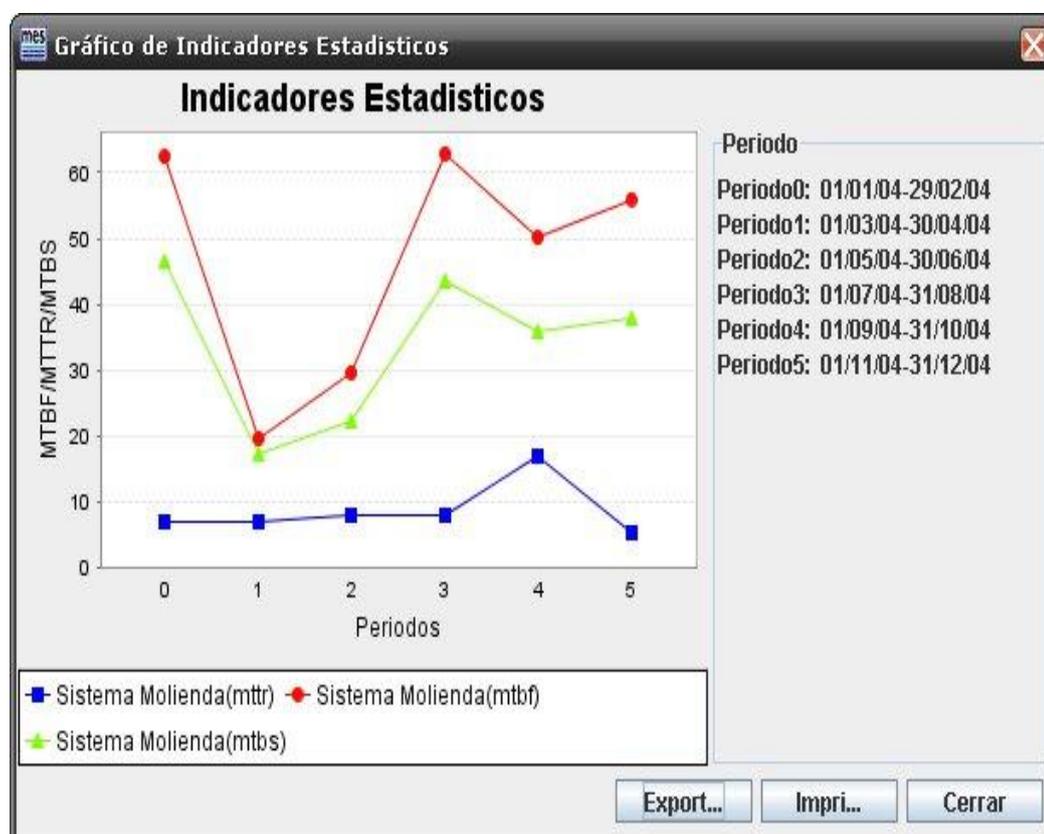
- Disponibilidad, total y por averías de equipos.
- Mantenibilidad de equipos.
- MTBF, MTTR.
- Fiabilidad de equipos y componentes.
- Confiabilidad de sistemas.
- Efectividad operacional.
- Costo de mantenimiento por facturación.
- Costo de mantenimiento por valor de reposición.
- Costos de mantenimiento (directo, indirectos, por falla y almacenamiento).

#### **2.4.7.1.2** *Indicadores para la evaluación de la función del mantenimiento.* Ver en el anexo F.

- Índices de evaluación para el control de trabajos.
- Índices de actuación del factor apoyo logístico.
- Índices de evaluación del uso de contratistas.
- Índices de evaluación de la organización.
- Índices de evaluación del factor costo.

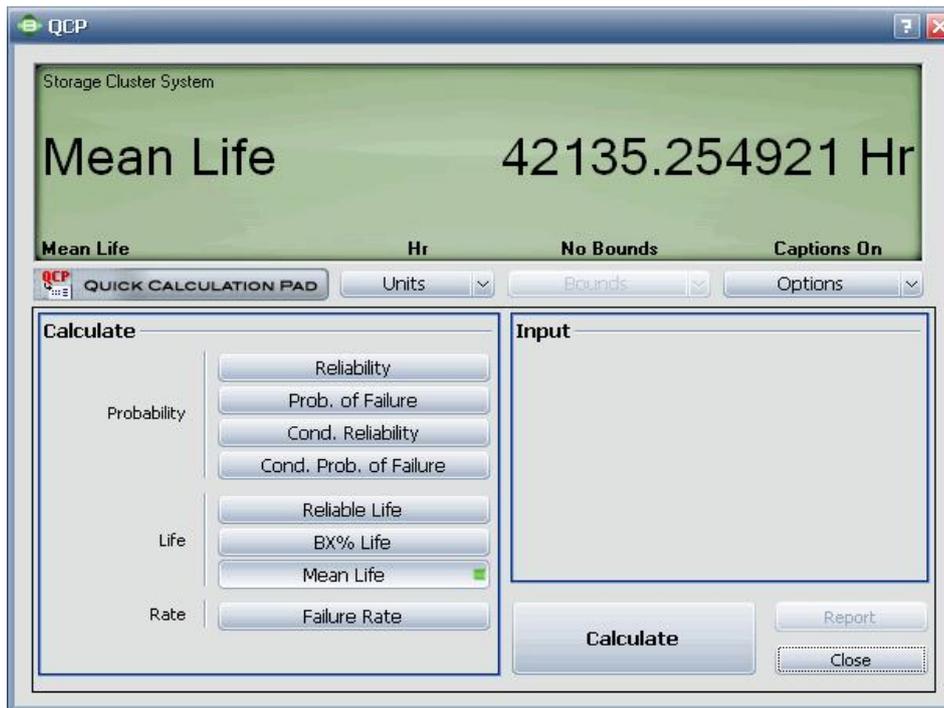
**Ejemplos.** Algunas aplicaciones independientes a Microsoft Corporation, como en el caso de Oracle, SAP, IBM, PeopleSoft, ProntoSoft, entre muchas otras compañías, desarrollan programas para la Planificación de Recursos Empresariales (ERP) y Administración de Recursos Empresariales (EAM), que representan algunos indicadores básicos tales como; la disponibilidad, el MTBF y el MTTF. Pero otras aplicaciones como la de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) como por ejemplo los software R-MES de ORACLE partner, BlockSIM de ReliaSoft, Relex de Relex Italia S.r.l., etc., determinan el estudio más profundo de todos los indicadores de mantenimiento. Algunos de ellos forman parte de una lista de software utilizados para la gestión del mantenimiento que realizan el estudio del desempeño de los equipos e instalaciones en función del Tiempo medio entre fallas (MTBF), el Tiempo promedio para la falla (MTTF) y Tiempo medio para reparación (MTTR) por cada período como en la figura 20. El ingreso de las mediciones se lo realiza en la base de datos de manera manual o automática, utilizando sensores o contadores de tiempo que envían la señal de manera remota al momento que el equipo deje de funcionar por cualquier motivo. En algunos casos se crean reportes o informes de lo que se puede compartir e imprimir, mediante las ventanas de resultados como en el caso de la figura 21.

**Figura 20:** Gráfico de indicadores estadísticos utilizando R-MES



Fuente. <http://www.mes.cl>

**Figura 21:** Representación del MTBF utilizando BLOCKSIM 7



Fuente. <http://www.reliasoft.com/BlockSim>

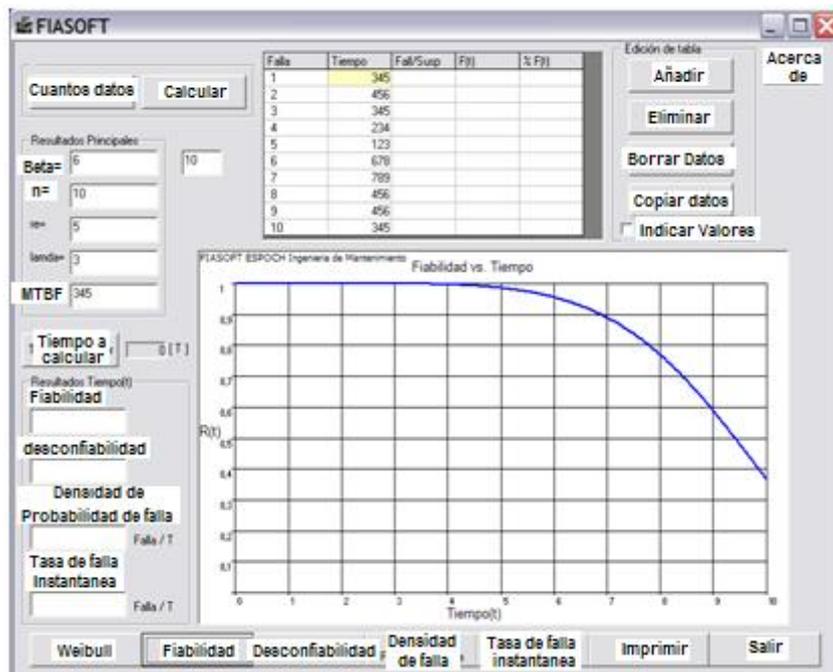
Existen aplicaciones muy populares que han utilizado plataformas de programación informática y base de datos propiedad de Microsoft Corporation, que realizan el estudio de fiabilidad. En donde se desarrollan modelos estadísticos que requiere información del tiempo medio entre fallos (MTBF), obtenidos del registro de fallas de los equipos o conocido como historial. Estableciendo así la distribución estadística, sea Weibull para sistemas mecánicos, o distribución Exponencial para sistemas eléctricos y electrónicos.

Se representan resultados gráficos y cuantitativos de equipos de forma individual de la disponibilidad, fiabilidad, densidad de la probabilidad de falla y la tasa de fallos con relación al tiempo como se muestra en la figura 22. Esta herramienta permite imprimir y compartir los informes generados en word, pdf, etc.

Es importante la inclusión de estas herramientas para formar parte de los software de gestión de mantenimiento, en la que se pueda calcular los indicadores básicos.

R-MES de ORACLE partner a diseñado la representación de la confiabilidad del sistema en función del tiempo de servicio del equipo, además en la misma ventana de resultado se puede observar el porcentaje de disponibilidad, el costo de la falta y el costo total. Se considera también de gran importancia el poder actualizar y compartir la información como se muestra en la figura 23.

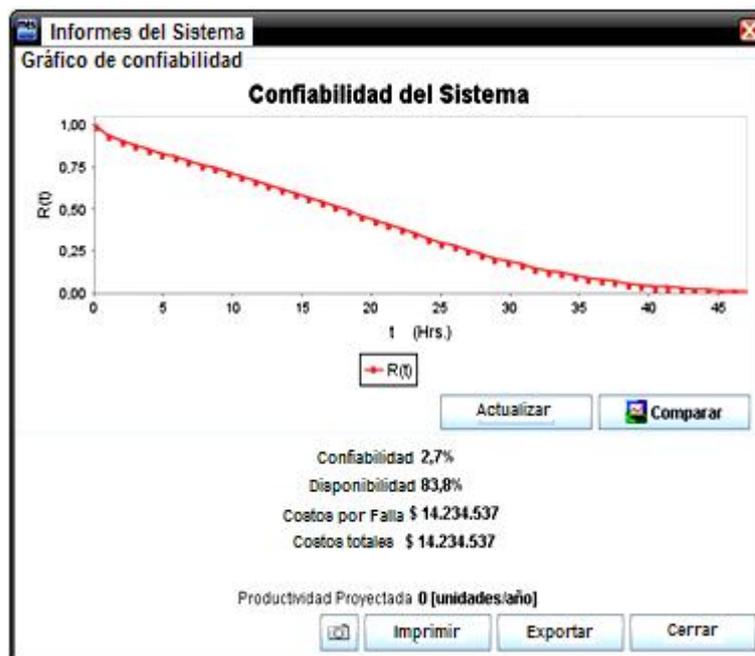
Figura 22: Representación de la fiabilidad en función del tiempo utilizando Fiasoft.



Fuente. EIMI

Se puede considerar de importancia general, una simulación de la información mediante la comparación de datos estándares o recomendados con los obtenidos, de lo que se genera un aviso o alarma para el usuario, al momento que los valores o índices obtenidos demuestran una eventual anomalía del sistema.

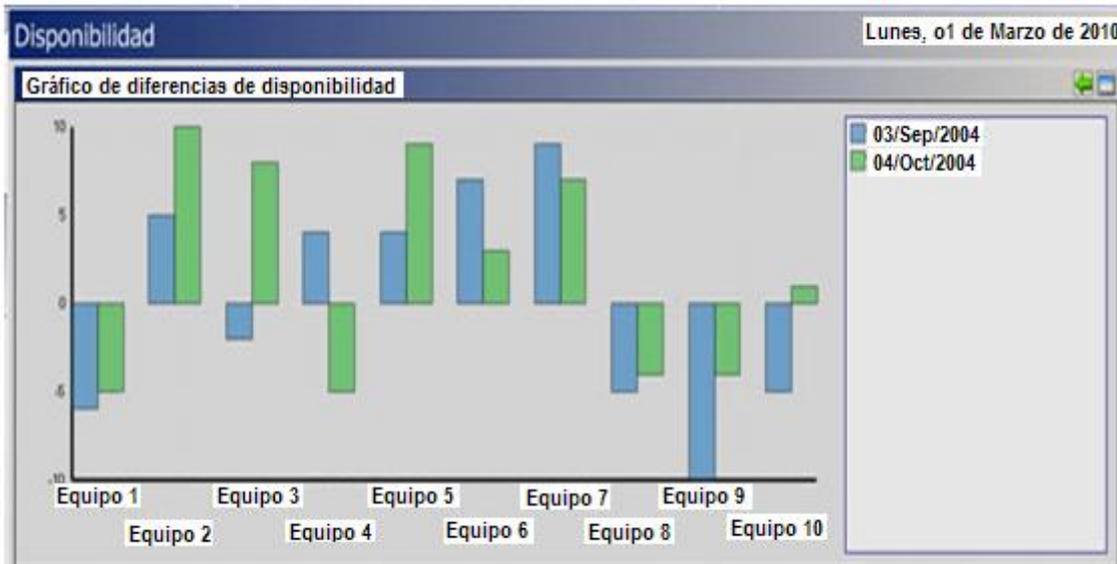
Figura 23: Informe de confiabilidad del sistema utilizando RMES



Fuente. <http://www.mes.cl>

Otra manera muy utilizada para la representación de la disponibilidad, es la que aplica la herramienta IT ServiceManagement de IBM tivoli, en la que ejecuta la comparación de la disponibilidad entre equipos, y cada uno se lo estudia en dos períodos diferentes, como se puede observar en la figura 24.

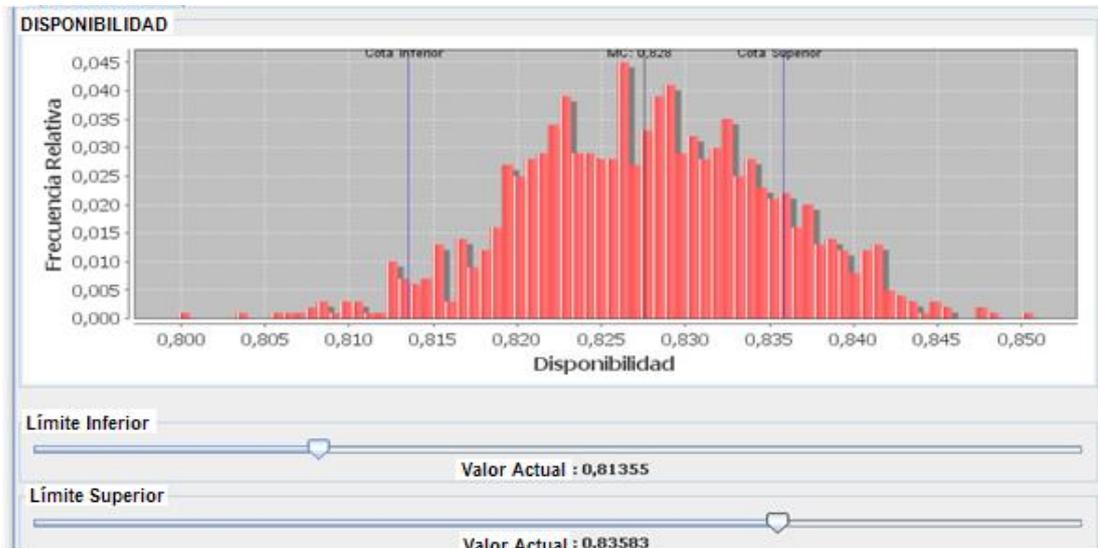
**Figura 24:** Representación de la disponibilidad utilizando IT ServiceManagement



Fuente. <http://www.itiil-officialsite.com/>

Otra importante característica que presentan algunos software de gestión de mantenimiento es que se puede fijar límites superior o inferior de referencia, formando así un histograma para fijar la probabilidad recomendada de disponibilidad del sistema, como muestra la figura 25.

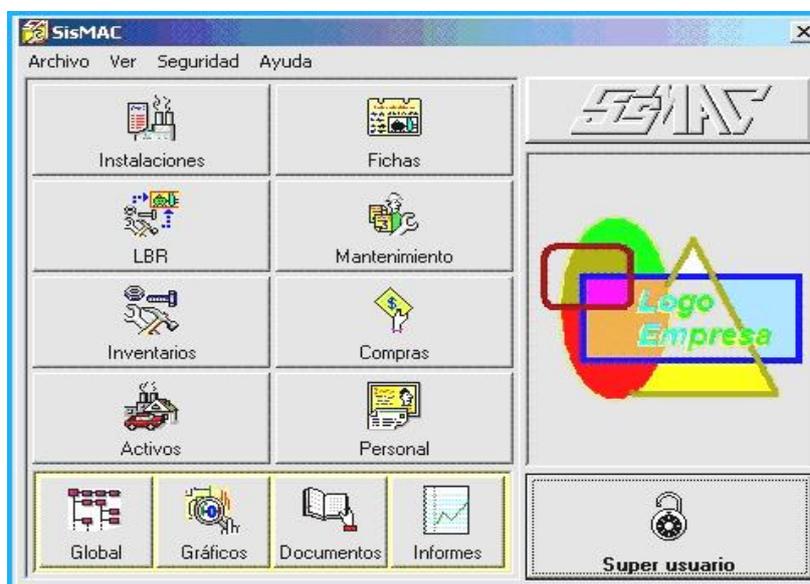
**Figura 25:** Estudio de la disponibilidad utilizando R-MES



Fuente. <http://www.mes.cl>

La mayoría de los programas de gestión de mantenimiento expresan a la Efectividad Operacional, relacionando las horas que el equipo está produciendo y las horas que dispone para hacerlo. Tomando en cuenta el tiempo que los equipos dejaron de producir por paradas imprevistas o programadas, mediante la medición del tiempo real de funcionamiento con contadores de tiempo o dispositivos que entregan la información directamente a la base de datos, para que la herramienta de cálculo de índices pueda generar información para el historial de funcionamiento. SisMAC representado en la figura 26 y como la mayoría de aplicaciones tienen un interfaz con programas independientes, de los que se extrae la información que se almacena en el historial para la determinación de la disponibilidad, mantenibilidad la cual se representa estadísticamente en horas de mantenimiento prestadas por producción. Además se puede encontrar algunas relaciones entre trabajos pendientes, programados, emergentes y realizados. Llevando así un control y seguimiento de las actividades de mantenimiento mediante un monitoreo de funcionamiento, que a más de controlar el tiempo se puede monitorear otras variables de proceso, como por ejemplo; temperatura, nivel de presión, velocidad y algunos que influyan en la paralización o disminución de un sistema productivo.

**Figura 26:** Demostración general de atributos del SisMAC



Fuente: <http://www.sismac.net/>

**2.4.7.2 Herramientas para la consolidación de datos y toma de decisiones.** Particularmente en el proceso de mantenimiento estas herramientas se dirigen para el Análisis de falla que comprende el examen sistemático del elemento, máquina o sistema dañado o potencial al daño, usando esta información para mejorar la

confiabilidad. Para empezar con el análisis de fallas es importante considerar el nivel de criticidad que tiene cada equipo o sistema en estudio. Por lo general se realiza un Análisis de Criticidad o la identificación de factores de riesgo, las cuales son metodologías utilizadas con frecuencia en los departamentos de mantenimiento. El Análisis de Criticidad es el más usado por el personal de las plantas en las industrias, y permite establecer la jerarquía o dar prioridad a procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas. Estas herramientas también estudian los modos de falla, que son eventos que causan falla funcional o pérdida de función. Una vez que se ha identificado el modo de falla, hay que analizar qué pasa cuando ocurre, es decir las consecuencias en el activo y decir qué se hace para anticipar y prevenir, corregir o detectar la falla o rediseñar el equipo. Existen una serie de metodologías para diagnosticar fallas, pero las más aplicadas como herramientas de consolidación y toma de datos y toma de decisiones tenemos: [18]

**2.4.7.2.1 Análisis de modos y efectos de falla (AMEF).** Se define el AMEF como una metodología sistemática que permite identificar los problemas antes de que éstos ocurran y puedan afectar o impactar a los procesos y productos en un área determinada, bajo un contexto operacional dado. Probablemente el método más usado y más efectivo de análisis de confiabilidad. La referencia original es la norma militar americana US MIL-STD-1629, y aplica una matriz en la tabla 2. [19]

**Tabla 2.** Matriz AMEF para gestión de riesgo.

Actividad	...
Riesgos	...
Efectos	...
S	<b>1-10</b>
Causas	...
O	<b>1-10</b>
Controles Actuales	...
C	<b>1-10</b>
NPR	...
Tratamiento definido	...
Responsabilidad	...
Fecha de cumplimiento	...
Resultados de la acción	...
S	<b>1-10</b>
O	<b>1-10</b>
C	<b>1-10</b>
NPR	...
S= Severidad; O=Ocurrencia; C=Calidad del control; NPR=Nivel prioritario del riesgo	

Fuente. US MIL-STD-1629,

Con la realización del AMEF, se obtiene la información necesaria para poder prevenir las consecuencias o efectos de las posibles fallas, a partir de la selección adecuada de actividades de mantenimiento, las cuales actuarán sobre cada modo de falla y sus posibles consecuencias. El AMEF obedece al procedimiento del anexo K. [20]

En los software de gestión de mantenimiento Esta información es utilizada para optimizar la planificación de las actividades preventivas, disminuyendo notablemente los correctivos. Se asignan de mejor manera los recursos y las rutas de inspección de equipos, creando un filtro de intervenciones que se procura dar mayor énfasis a componentes o equipos que dan mayores problemas.

**Ejemplos.** Una de las compañías de mayor experiencia en aplicaciones de ingeniería de confiabilidad es (Relex Italia S.r.l.) de la figura 27, en la que muestra una matriz que aplica el software, con opciones de introducir la información de los reportes de intervención, solicitudes de trabajo y las fallas existentes en la base de datos.

**Figura 27.** Representación de la matriz AMEF utilizando RELEX.

	Proceso	Función	Modos de falla	porcentaje	efecto local	efecto final	Sev	clasif.	causas	O
1			falla de CPU	33,00	Se detiene el proceo de placa madre	La tableta PC no funcional	6		Falla en el ventilador del CPU	3
2	Proceso de Selección	Transferencia de datos	Falla de la sección SRAM	33,00	microprocesador no puede almacenar los resultados intermedios	baia transferencia de datos	6		corte de metal a metal	4
3			Falla en la sección de video	34,00	La sección de video ofrese una señal degradada	operación limitada pérdida de capacidad Pérdida de datos probables Reparación necesaria baia transferencia de datos la tableta PC falla			tarjeta de video perdida	6

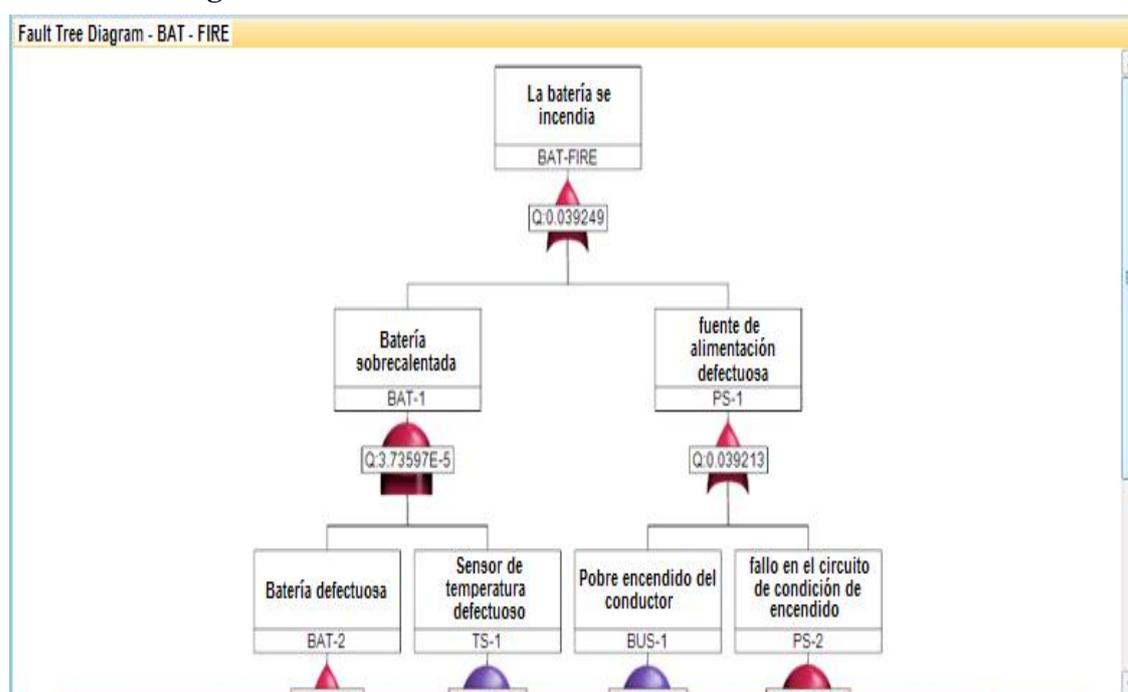
Fuente. <http://www.relexsoftware.it>

**2.4.7.2.2 Árboles de fallos.** Es un procedimiento deductivo para determinar las diversas combinaciones de fallas a nivel componente que pueden desencadenar eventos no deseados especificados al inicio del análisis. Los árboles de falla también son usados para calcular la probabilidad de ocurrencia del evento en estudio a partir de la

probabilidad de ocurrencia de las fallas de los componentes. Los árboles también son usados para identificar las causas raíces de fallas, aplicando las reglas del anexo O.

**Ejemplos.** Algunos software con aplicaciones de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) tales como; FaultTree+ de Isographdirect, Relex de Relex Italia S.r.l, Cafta de Itemsoft y Cara de Sydvest software, dedicados al análisis de fallas y herramientas de confiabilidad, aplican la construcción del árbol, denominando a la falla a estudiar como evento principal. Otros eventos de falla que puedan contribuir a la ocurrencia del evento principal son identificados y ligados al mismo a través de funciones lógicas. La herramienta que posee la compañía Relex Italia S.r.l. (figura 28), construye gráficamente la estructura del árbol, realizando un análisis con dos formas. La primera es el análisis cualitativo que utiliza álgebra booleana, reduciendo el árbol hasta obtener un conjunto mínimo de modos de falla para el árbol. La segunda forma es el análisis cuantitativo que consiste en calcular la probabilidad de ocurrencia del evento principal a partir de la probabilidad de ocurrencia de los eventos básicos en un cierto intervalo de tiempo. Se han implementado con frecuencia las herramientas de análisis de falla y particularmente, el desarrollo de árboles de fallas en los software de gestión de mantenimiento, con el objetivo del estudio de las fallas reportadas y almacenadas en la base de datos. Las fallas más comunes y severas son analizadas para que se tomen decisiones en la mejora de las políticas de mantenimiento y la planificación de actividades.

**Figura 28:** Elaboración del árbol de fallas utilizando RELEX



Fuente. <http://www.relexsoftware.it>

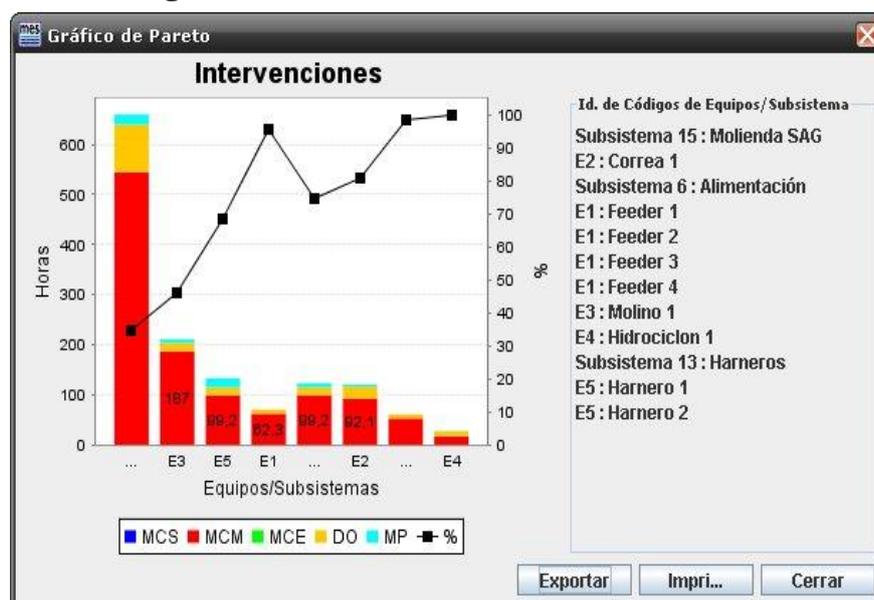
**2.4.7.2.3 Diagrama de Pareto.** Es un método gráfico para definir los problemas más importantes de una determinada situación y, por consiguiente, las prioridades de intervención. Se ha demostrado que el secreto del éxito en toda disciplina depende de contar con unas pocas prioridades claras o cosas más importantes en las que concentrarse. El diagrama Pareto concentra los esfuerzos en los aspectos más importantes y rentables del problema analizado, es decir, en los aspectos que ocupan las partes más elevadas del propio diagrama. El proceso de elaboración del diagrama de Pareto se explica en anexo P.

**Ejemplo.** R-MES de ORACLE partner mostrado en la figura 29, permite jerarquizar el impacto de los equipos y subsistemas, en función del tiempo y frecuencia de las fallas. El usuario puede establecer las fallas a considerar en los gráficos de pareto según los tipos de intervenciones:

- Mantenimiento correctivo eléctrico
- Mantenimiento correctivo mecánico.
- Mantenimiento correctivo instrumental.
- Mantenimiento preventivo.
- Detención operacional.

Es ideal la utilización de esta herramienta con el objetivo de tratar la información que es almacenada en el historial. Pudiendo analizar un grupo de intervenciones por cada equipo. Mostrando sus tendencias y la importancia que refleja aplicarlos.

**Figura 29:** Gráfico de Pareto utilizando R-MES

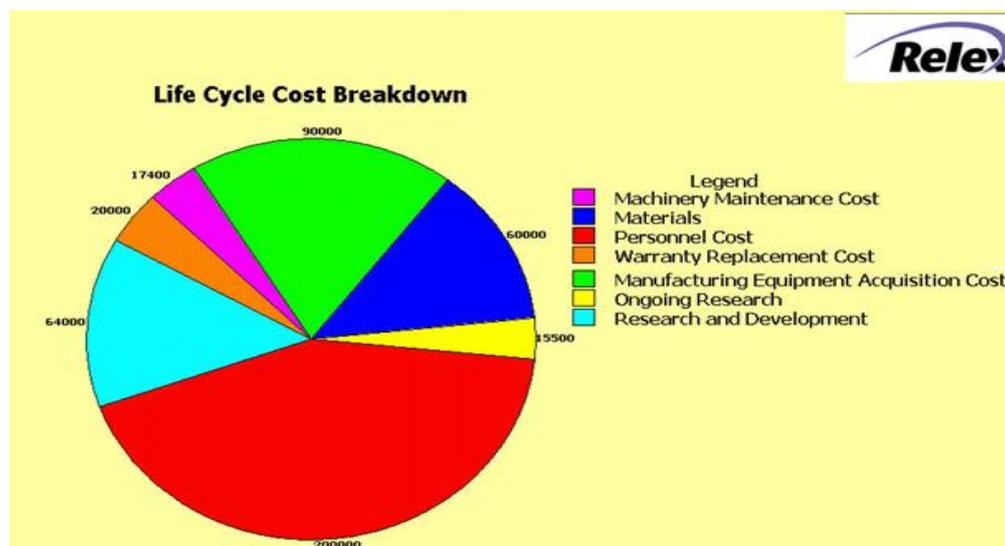


Fuente. <http://www.mes.cl>

**2.4.7.3 Herramienta de gestión económica.** Es importante considerar a las herramientas que realizan un seguimiento a los activos en todo su ciclo de vida como muchos ERP y EAM que facilitan la comunicación entre aplicaciones CMMS, considerando el tratamiento de la información de costos de los equipo o sistema en estudio. La metodología utilizada a nivel de ingeniería de mantenimiento que permite determinar el remplazo de un equipo del sistema productivo, se centra en la consideración del impacto económico en el Análisis del Costo del Ciclo de Vida (LCC) el cual, es una estrategia de uso común, y se lo utiliza con frecuencia como una herramienta de gestión económica. El LCC crea una cultura de planificación y previsión para optimizar los recursos durante la vida total del funcionamiento de los activos físicos. El objetivo es conseguir una cifra que sintetice todos los flujos de beneficios y costos para poder ayudar en la toma de decisiones relativas a la compra, renovación o mejoramiento de los equipos o sistemas. El costo del ciclo de vida esta constituido por; los costos de investigación y desarrollo, de inversión, de operación, de mantenimiento y el costo de retirada del sistema. Es importante considerar para el análisis LCC, los costos por paradas imprevistas o de emergencia que afectan a la producción, cabe notar los problemas de visibilidad de costos en el anexo Q.

**Ejemplo.** Relex Italia S.r.l. realiza el estudio LCC y facilita la realización de informes de seguimiento económico de los activos, agilizando la interpretación de resultados. Se puede observar en la figura 30 un desglose del costo del ciclo de vida. Donde se toma en cuenta algunos factores como el costo de mantenimiento de la maquinaria, materiales, costo de personal, costo de adquisición del equipo fabricado, entre otros.

**Figura 30:** Análisis del costo del ciclo de vida utilizando RELEX

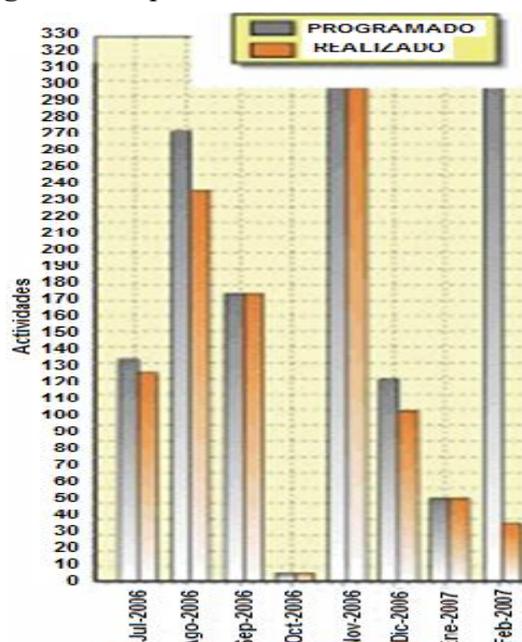


<http://www.relexsoftware.it>

**2.4.8 Aplicaciones utilizadas para la gestión del mantenimiento.** Las plataformas software que se aplican con frecuencia para la gestión del mantenimiento en las industrias, no necesariamente son Sistemas de Administración del Mantenimiento por Computador (CMMS), los cuales son especializados y gestionan el mantenimiento de equipos, activos y propiedades. Diversas necesidades del crecimiento de la demanda informática en el proceso de mantenimiento, han evolucionado sus aplicaciones como en el caso de los software de planificación de recursos empresariales (ERP), que son sistemas integrados cuyo origen se debe a las necesidades para atender las actividades administrativas y financieras. Incluso los Software de Gestión de Recursos Empresariales (EAM), que son sistemas que evolucionaron la función de los CMMS, se han orientado a mejorar la administración de los activos y ampliar su influencia a otras áreas.

**Ejemplos.** Los ERP, EAM y CMMS son los principales tipos de software que se aplican para la gestión del mantenimiento. Cada uno de ellos tiende a estandarizar y actualizar sus aplicaciones para mejorar las funciones y herramientas que garanticen la gestión en el mantenimiento de los sistemas productivos. El tipo de software CMMS o GMAO es el más apropiado para el mantenimiento e incluso existen nuevas tendencias especializadas para la industria, como algunos software muy bien promocionados por la red tales como Prisma3 de Sisteplant Corporation, GIM de Tcman Corporation, MAGMA de Acimut Integración de Sistemas SA, y MP de Técnica Aplicada Internacional CV, SA representado en la figura 31. [21]

**Figura 31:** Aplicación demostrativa con MP.



Fuente. <http://www.mpsoftware.com.mx>

## 2.5 Análisis y diagnóstico del área de mantenimiento

La primera etapa para la implementación de una gestión de mantenimiento asistido por ordenador o computador (GMAO) constituye en la investigación del estado actual del desenvolvimiento del personal en su trabajo y gestión del mantenimiento, mediante la realización de una encuesta tipo auditoría para mantenimiento, con el fin de realizar un análisis y diagnóstico de la situación actual. Esta información permite establecer un punto de partida para el seleccionamiento de cualquier tipo de herramienta.

La metodología actual para el desarrollo del A&D está compuesta por las siguientes etapas:

- Elaboración de un cuestionario tipo auditoría que servirá como guía para desarrollo de los trabajos de análisis;
- Visitas a las instalaciones, talleres y oficinas de las áreas de actuación del mantenimiento, para conocimiento de las actividades desarrolladas por cada una;
- Comunicación con los profesionales directa o indirectamente que forman parte del análisis;
- Consultas a la documentación en uso y determinación del flujo de información existente;
- Elaboración del informe de diagnóstico y resultados.

Los procedimientos utilizados en el desarrollo del A&D pueden ser cuantitativos, cualitativos o ambos. En cualquier caso, el diagnóstico, resultado del análisis, debe contener indicaciones o alternativas para mejoras en los métodos practicados por la empresa. [22]

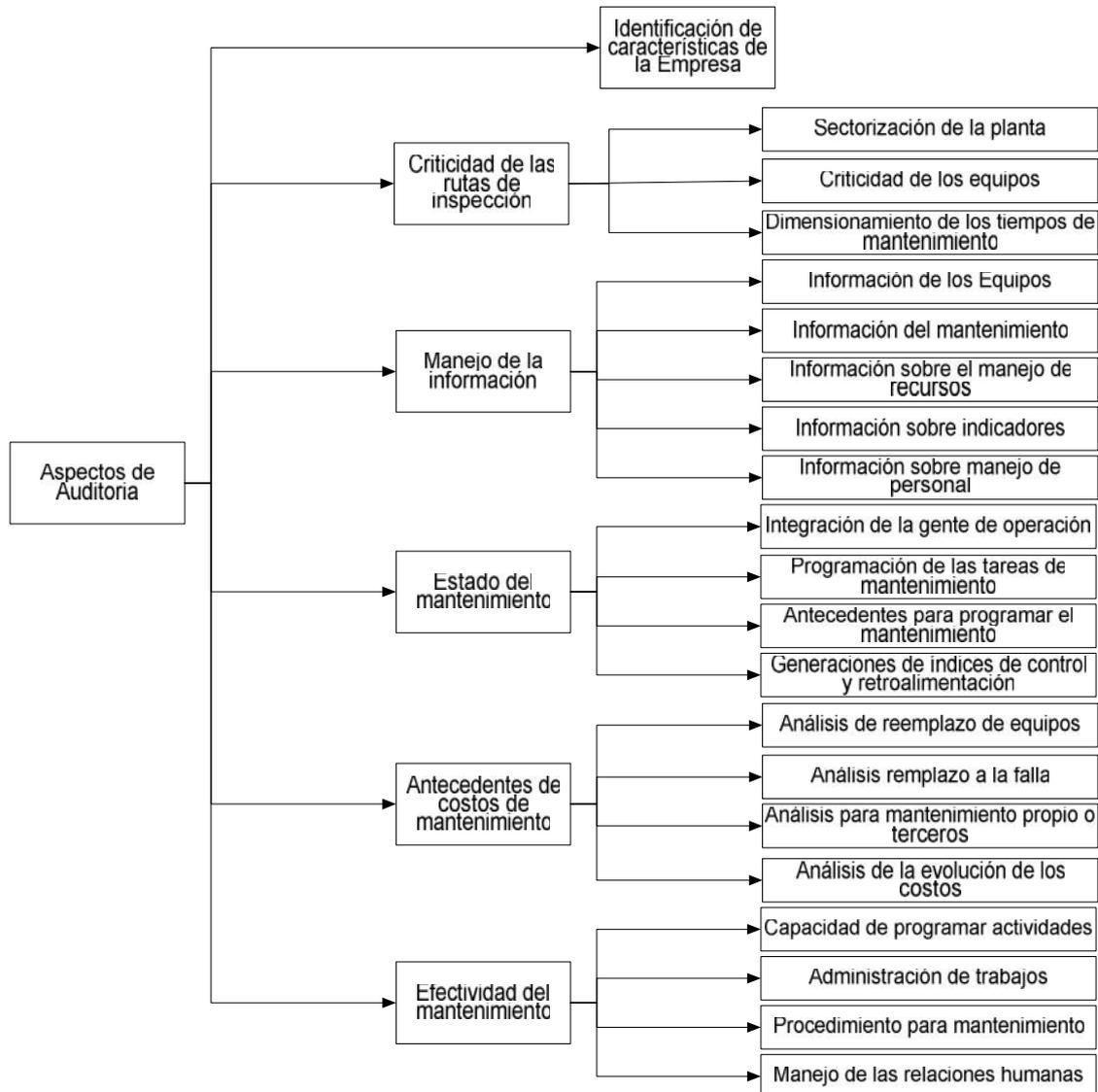
Se elabora un cuestionario con los parámetros establecidos para la auditoría de mantenimiento, como se muestra en el anexo G, la cual abarca algunos temas de importancia. Se pueden considerar los datos de una auditoría interna como punto de referencia general de la situación actual del mantenimiento.

La encuesta tipo auditoría para mantenimiento debe considerar por lo menos los aspectos conformados en la figura 32.

Hay muchos instrumentos para auditar el mantenimiento cuya selección o diseño depende de la estrategia definida para la organización en primer lugar, y para el

departamento de mantenimiento en segundo; sin embargo, el foco central de la herramienta, que se aplica por primera vez, debe apuntar a una auditoría global. El contenido de la auditoría debe cubrir las áreas que van desde la identificación y descripción del departamento de mantenimiento hasta el uso de herramientas de gestión.

**Figura 32:** Aspectos de estudio en una auditoría de mantenimiento.



Fuente. <http://es.scribd.com/doc/28229762/auditoria-de-mantenimiento>

El Análisis y Diagnóstico del mantenimiento me da las bases para la determinación de posibles problemas y plantear alternativas de solución a las debilidades detectadas. Se puede usar esa información para optimizar recursos en general. Se puede utilizar la información obtenida en el análisis y diagnóstico del mantenimiento para el seleccionamiento o mejoramiento de la utilización de los sistemas de mantenimiento informatizado. Ya que es necesario tener en claro cuál va a ser el alcance y los requisitos fundamentales del mismo.

## 2.6 Selección del software de mantenimiento

Luego de la etapa de A&D, se inicia el seleccionamiento adecuado del sistema, que almacenará y procederá las informaciones del proceso de gestión del mantenimiento.

Las exigencias actuales del mantenimiento en tener disponibilidad y efectividad de sus sistemas productivos alcanzando rentabilidad, son de tal orden que se impone responsabilidades al personal administrativo de mantenimiento, que pueden ser ejecutadas solo con herramientas adecuadas de gestión. [23]

En los países americanos, existe una gran cantidad de sistemas de gestión del mantenimiento ofrecidos como la solución final a los problemas, sin embargo en la mayoría de casos, después de su adquisición, la realidad muestra que algunos, en vez de obtener soluciones para sus problemas, en la realidad adquirieron más dificultades para administrar. [24]

Existe la seguridad que más del 50% de los sistemas comercializados no llegan a satisfacer adecuadamente a las empresas y lamentablemente no son divulgadas esas experiencias negativas, con raras excepciones. [25]

De esta forma los gerentes se deben preocupar en la selección de un sistema que realmente satisfaga sus necesidades, no solamente basados en las demostraciones hechas por los proveedores, sino también, con una investigación consciente de las consecuencias que vendrán con su adquisición.

Dependiendo de los recursos a ser invertidos, en la información del sistema de gestión del mantenimiento, la selección de software podrá basarse en la: experiencia del personal de la empresa, asesoría especializada y/o utilización del diagnóstico de la auditoría del área de mantenimiento.

En la utilización de la técnica de cuestionarios, se puede dividir la selección de software en cuatro etapas:

- Elaboración del cuestionario de selección objetiva;
- Elaboración del cuestionario de selección subjetiva;
- Presentación de los software y
- Propuestas comerciales.

Dependiendo de las necesidades y complejidad de la empresa, el proceso de selección se desarrollará entre uno y dos meses.

El cuestionario de evaluación objetiva es más extenso y más simple de ser completado, ya que las preguntas son respondidas positiva o negativamente, y sus resultados multiplicados por números que dan el grado de importancia del asunto para las características del funcionamiento. Las preguntas son atribuidas a tres o cuatro niveles de importancia (peso) con las siguientes interpretaciones.

Peso 0 (cero): Pregunta que no afecta el resultado de la selección, sin embargo, que debe ser hecha a título de información.

Peso 1 (uno): Pregunta básica en el proceso de selección. Es aquella que aparece con más frecuencia como los concernientes al manejo de las órdenes de trabajo, repuestos y el personal.

Peso 2 (dos): Pregunta muy importante en el proceso de selección, normalmente vinculada a aspectos de codificación, historiales del mantenimiento y reportes gerenciales.

Peso 5 (cinco): Pregunta excluyente en el proceso de selección. Su respuesta negativa indica que el software analizado no responde a las necesidades fundamentales de la empresa, normalmente vinculada a aspectos de procesamiento de datos, asistencia técnica, garantías y reportes de gestión. Se espera que estas preguntas sean respondidas positivamente.

Además de las preguntas semejantes a las del cuestionario objetivo pueden ser incluidas algunas relacionadas con; capacitación operacional (implantación del sistema y conceptos), autonomía (cambios en la base de datos, creación de archivos, alteración de campos), facilidad operacional y navegabilidad del sistema, experiencia de utilización en empresas del ramo, recursos informáticos, costos de licencia por usuario, tasa de mantenimiento, etc.

Establecido ya el cuestionario objetivo referente a la evaluación del sistema de mantenimiento computarizado a los usuarios, se realiza una comparación de los resultados obtenidos en el análisis y diagnóstico del área de mantenimiento, para presentar el software existente o no en el mercado, que puedan satisfacer las

necesidades y requerimientos del área de mantenimiento. Se utiliza la experiencia propia del personal o la asesoría de consultores externos; elaborando un gráfico de presentación de los sistemas que están al alcance.

La selección del software será concluida con el establecimiento de las especificaciones técnicas, para que los proveedores puedan elaborar sus propuestas comerciales. Estas especificaciones son basadas en las políticas internas de la empresa, sus características operacionales, sus criterios financieros y contables.

Es importante la participación de especialistas de las áreas de: planificación y organización del mantenimiento, analistas de Sistemas y principalmente los usuarios. Debiendo todos los participantes poseer la delegación del poder de decisión en sus actividades, para que el sistema desarrollado alcance el objetivo deseado, de acuerdo con; las metas y los plazos a ser alcanzados, la confiabilidad deseada y los costos involucrados.

## CAPÍTULO III

### 3. SITUACIÓN ACTUAL DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO ASISTIDO POR COMPUTADOR.

#### 3.1 Industria cementera del Ecuador [26]

En el Ecuador, existen cuatro empresas que fabrican cemento y sus derivados. Dos son multinacionales privadas y dos pertenecen enteramente a instituciones del Estado. La industria del cemento en Ecuador se inició en el año 1923 cuando la empresa Industrias y Construcciones, instaló la primera planta en la ciudad de Guayaquil, con una producción de 3.000 toneladas/año. Las cuatro empresas cementeras, geográficamente bien localizadas ha permitido a cada una disponer de una área de influencia natural, de acuerdo a sus capacidades de producción.

Las empresas de cemento se indican en la tabla 1 y su capacidad productiva de acuerdo a lo proyectado en el 2012, se muestra en la figura 33.

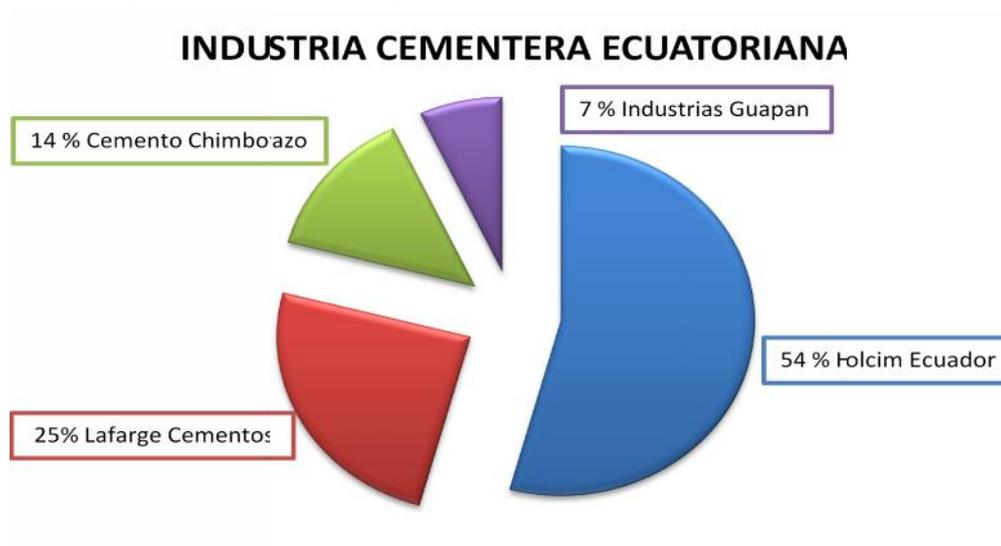
**Tabla 3.** Empresas cementeras en Ecuador.

EMPRESA	PLANTA	TIPO	CREACIÓN
HOLCIM ECUADOR SA	Cerro Blanco San Rafael	Privada (Suiza)	Guayaquil, 1923
LAFARGE CEMENTOS SA		Privada (Francesa)	Otavalo, 1974
INDUSTRIAS GUAPÁN SA	Guapán	Estatal	Azogues, 1955
CEMENTO CHIMBORAZO CA	San Juan Chico	Estatal	Riobamba, 1951

Fuente. INECYC

En el año 2005 la industria del cemento decidió que al igual que en la mayoría de países se debía constituir un organismo que la represente, fruto de tal iniciativa nace el Instituto Ecuatoriano del Cemento y el Concreto - INECYC, el mismo que empezó a operar en el mes de noviembre del 2008. El 100% de la industria del cemento forman parte de INECYC, a más de las grandes empresas suministradoras de hormigón premezclado del país, que tienen presencia en varias ciudades, HOLCIM Ecuador y Hormigones Hércules.

**Figura 33.** Capacidad productiva anual de cemento en Ecuador.



Fuente. INECYC

### 3.1.1 *Holcim Ecuador S.A.* [27]

Holcim Ecuador S.A. es una compañía con 85 años en el mercado, siendo líder en el sector de la construcción a través de sus productos como: cemento, hormigones y agregados.

Anteriormente la empresa se llamaba Industrias y Construcciones con la producción del cemento Cóndor, funcionando hasta 1933, donde se convirtió en La Cemento Nacional. El saco de cemento Cóndor se empezó a llamar Rocafuerte.

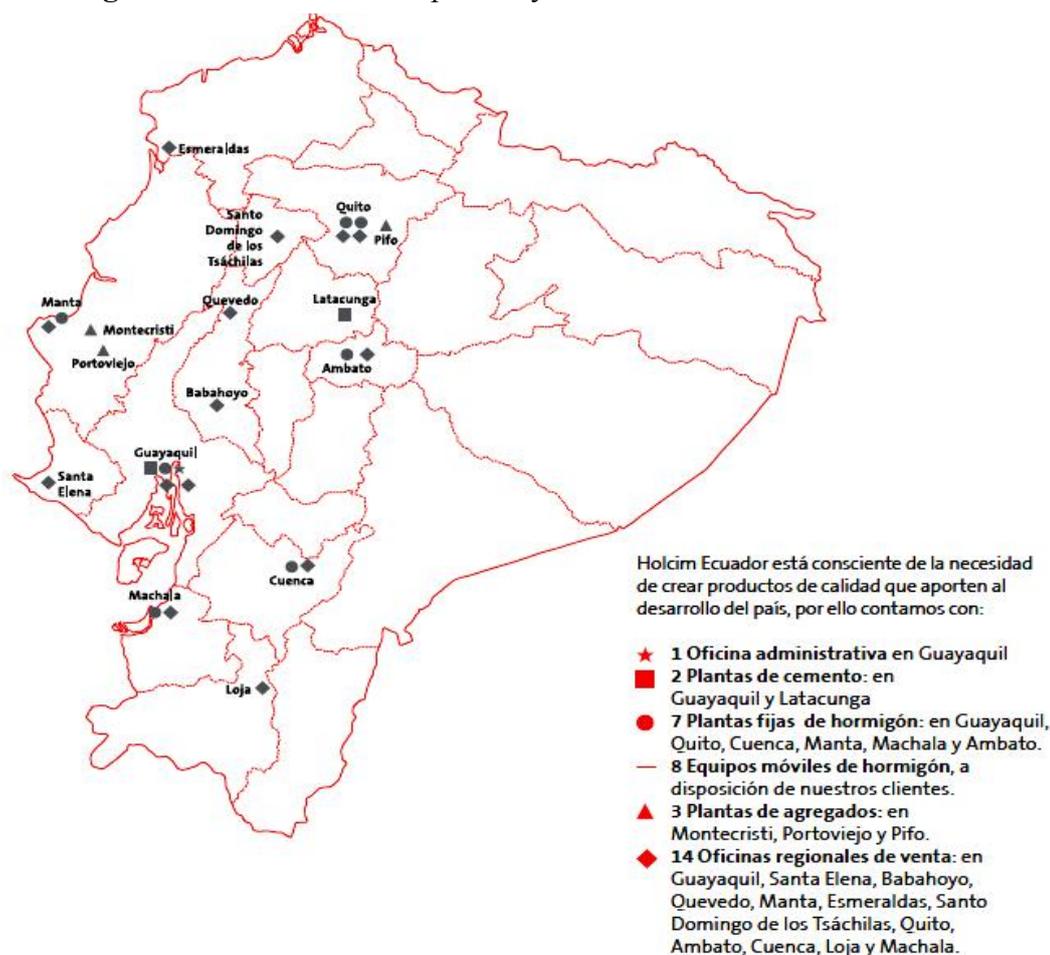
La gran demanda de cemento en los años 40 hizo necesaria la ampliación de la fábrica de San Eduardo por las siguientes tres décadas. En 1975 se inició la construcción de la planta de cemento Guayaquil (antes llamada Cerro Blanco). En 1976, La Cemento Nacional empezó a ser parte del grupo cementero suizo Holderbank (hoy Holcim).

La Cemento Nacional C.A. se convirtió en Holcim Ecuador S.A, con una imagen completamente renovada y alineada a los estándares del grupo a nivel internacional. Holcim Ecuador SA, con su Planta de producción de cemento en Guayaquil, es la más importante en el país, y en conjunto con la Molienda Latacunga (antes llamada San Rafael) podrán abastecer al país con 5.4 millones de toneladas de cemento por año, a nivel nacional.

Holcim cuenta con 4 tipos de cemento; Holcim Rocafuerte, Holcim Premium, Holcim Base Vial Y Holcim Ultradurable.

El enfoque de la empresa está dirigido a la mejora continua, reducción de impactos ambientales y al aprovechamiento de recursos, mediante el empleo de materiales y combustibles alternativos, de donde se ha implementado un Sistema Integrado de Gestión, certificados en las normas ISO 9001, 14001 y OHSAS 18001 actualizadas y vigentes hasta el 2015, en todas las operaciones de cemento, hormigón, agregados y Oficinas Administrativas, a nivel nacional. Lo que constituye en la excelencia del manejo de los recursos en general.

**Figura 34.** Distribución de plantas y oficinas de Holcim Ecuador S.A.



Fuente. <http://www.holcim.com.ec>

### 3.1.1.1 Ubicación de Holcim Ecuador S.A.

#### Planta 1. Planta Guayaquil (Cerro Blanco)

a) Macro-localización.

País: Ecuador

Región: Costa

Provincia: Guayas

b) Micro-localización.

Cantón: Guayaquil

Parroquia: Chongón

Ubicación: Km 20, vía a la costa

**Figura 35.** Ubicación de la planta Holcim Guayaquil.



Fuente. <http://maps.google.com.ec>

**Planta 2.** *Planta Latacunga (San Rafael)*

a) Macro-localización.

País: Ecuador

Región: Sierra

Provincia: Cotopaxi

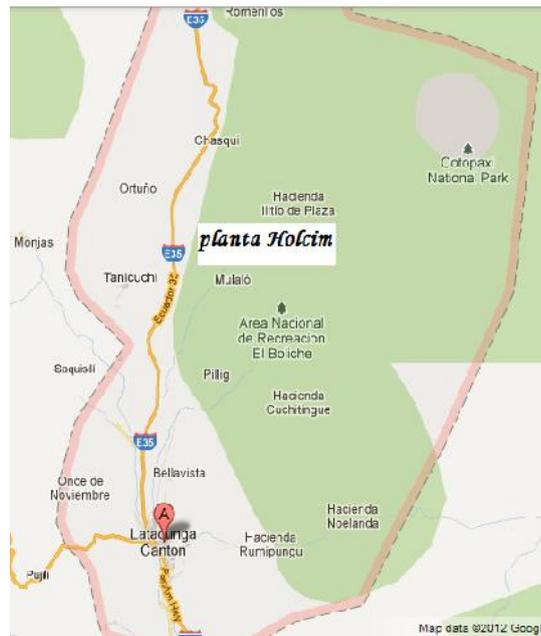
b) Micro-localización.

Cantón: Latacunga

Parroquia: Mulaló

Ubicación: Panamericana Norte, Parque Industrial IV Etapa - Avenida 1

**Figura 36.** Ubicación de la planta Holcim Latacunga.



Fuente. <http://maps.google.com.ec>

### 3.1.1.2 *Volumen de producción de cemento en Holcim Ecuador S.A.*

- *Planta Guayaquil (Cerro Blanco).* Posee 2 líneas de producción cada una constituida respectivamente por hornos de 3000, 3300 toneladas diarias de clinker. Las líneas de producción responden al proceso de fabricación del cemento en el anexo A.
- *Planta Latacunga (San Rafael).* Posee 1 línea de producción con un horno de 3000 toneladas diarias de clinker.

**3.1.1.3 *Estructura organizacional.*** El organigrama general de cada planta cementera de Holcim Ecuador y de otras partes del mundo se lo puede observar en el anexo B.

**3.1.1.4 *Descripción del departamento de mantenimiento.*** Tanto la planta Latacunga como la planta Guayaquil poseen la misma estructura organizacional, orientada a asistir a las necesidades de la línea de producción, los cuales desarrollan su trabajo en tres turnos al día, cada uno con una duración de 8 horas. En el caso de la cementera, se puede evidenciar que la gerencia de producción es el mando superior de la gerencia de mantenimiento. La gerencia de mantenimiento se divide en seis jefaturas, las cuales están conformadas por;

- *Planta Guayaquil (Cerro Blanco)*. La jefatura de infraestructura; con un jefe y tres colaboradores. Planificación; con un jefe y tres colaboradores. Predictivo; con un jefe y tres analistas. Instrumentación y Automatización; con cinco personas en total. Jefatura Eléctrica con un jefe, dos coordinadores y siete técnicos por turno, y la Jefatura Mecánica; con un jefe, tres coordinadores y nueve técnicos por turno.
- *Planta Latacunga (San Rafael)*. La jefatura de infraestructura; con un jefe y dos colaboradores. Planificación; con un jefe y dos colaboradores. Predictivo; con un jefe y tres analistas. Instrumentación y Automatización; con cinco personas en total. Jefatura Eléctrica con un jefe, dos coordinadores y seis técnicos por turno, y la Jefatura Mecánica; con un jefe, tres coordinadores y siete técnicos por turno.

Contando con un total aproximado de 150 personas entre gerentes, jefes, técnicos, instrumentistas y colaboradores. El costo de mantenimiento mensual es de \$ 2130000 aproximadamente, y su producción según las cifras del INECYC y el Instituto Ecuatoriano de la Construcción en el mes de marzo del presente año es alrededor de 234244 toneladas métricas de cemento en total.

La programación de las tareas asociadas al mantenimiento preventivo y predictivo, está a cargo de los que integran “Planificación”. En donde se realiza la creación del plan anual, mensual y las órdenes de trabajo para las rutinas o trabajos diarios. El jefe de planificación elabora informes de los equipos que han fallado y planifica según el grado de prioridad.

El área de mantenimiento predictivo, entrega la información de los equipos analizados, para así elaborar una planificación de su respectivo mantenimiento. La planificación de las tareas con la asignación de repuestos, equipos, implementos y talento humano está a cargo de la aplicación del sistema SAP PM– ERP 

La ejecución del mantenimiento mediante la asignación de una estrategia por parte del software, se la asigna al personal mecánico, eléctrico, como también a los instrumentistas que desarrollan adecuaciones para la automatización de los procesos y la conservación de las instalaciones estructurales por parte del personal de infraestructura. Las estrategias pueden ser correctivas o preventivas con determinada frecuencia de realización.

El control de los trabajos realizados por los jefes de cada una de las áreas para con su personal al mando, por lo general se toman como referencia la información de las órdenes realizadas y también el desarrollo de seguimientos frecuentes.

### 3.1.2 *Lafarge Cementos S.A.* [28]

La empresa fue creada en 1974 como Cementos Selva Alegre SA, con la participación de los sectores público y privado para la fabricación de cemento.

Desde el año 1994, esta importante empresa pasa a ser administrada por el sector privado, consolidándose como una de las empresas más eficientes del Ecuador.

Tiene una gama de productos los cuales son cemento Campeón, Selvalegre Plus, Selvalegre Antihumedad y Armaduro. En ese mismo año se desarrolla un dinámico programa de modernización y optimización de la empresa con importantes inversiones, tanto en los procesos de fabricación como en su gestión administrativa. Lo cual Selva Alegre S.A., es fortalecida al ser adquirida por el Grupo Lafarge de Francia.

Lafarge Cementos SA desde el 2011, amplió su producción anual a un millón 600 mil toneladas de cemento con un funcionamiento sistémico, es así que; su operatividad es eficaz ya que las unidades, departamentos, áreas, proyectos y programas se interrelacionan entre sí.

En esta nueva etapa Cementos Selva Alegre S.A, se propone seguir creciendo, ubicando a la Seguridad como su principal vector para lograr resultados continuos con aporte en el progreso y desarrollo del país, apoyo a su entorno, desarrollo sustentable. Procurando asumir una nueva visión como parte de una empresa integrada al grupo más grande del mundo en materiales de construcción Lafarge.

Lafarge en el Ecuador tiene estrictos estándares de manejo ambiental los cuáles son aplicados en las diferentes fases de fabricación del cemento. Lafarge realiza un monitoreo ambiental trimestral según el plan de manejo ambiental establecido internamente.

La información es enviada a laboratorios externos acreditados y luego la misma es enviada al Ministerio del Medio Ambiente para su conocimiento y observaciones. Adicionalmente, dicha información es controlada por auditores externos.

Para optimizar el manejo ambiental de la planta, Lafarge está en el proceso de implementación de un Sistema de Gestión Integrado. Esto permitirá la obtención de la normativa ambiental ISO 14001 (2004) al igual que la ISO 9001 (2008). En cuanto a

alianzas con organizaciones ambientales, el Grupo Lafarge mantiene una alianza estratégica con la World Wildlife Fund (WWF) a nivel mundial. Para este efecto del mejoramiento de los procesos industriales para reducir el consumo de energía eléctrica proveniente de fuentes de hidrocarburos. Lafarge está comprometida en proporcionar unas condiciones de trabajo seguras y saludables. Como en todas las empresas cementeras del país, la dirección es responsable de la prevención de los accidentes y enfermedades profesionales, la cual provee reglas de seguridad y salud dentro de la organización con todos los participantes del proceso.

### 3.1.2.1 Ubicación de Lafarge Cementos S.A.

#### **Planta.** *Cementera Industrial Lafarge*

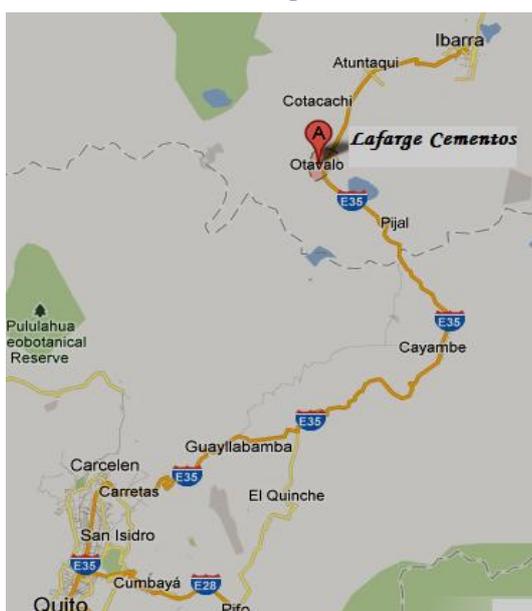
##### a) Macro-localización.

País: Ecuador  
Región: Sierra  
Provincia: Imbabura

##### b) Micro-localización.

Cantón: Otavalo  
Parroquia: Selva Alegre  
Ubicación: Km 7 ½ vía Selva Alegre, Otavalo.

**Figura 37.** Ubicación de la planta industrial Lafarge.



Fuente. <http://maps.google.com.ec>

**3.1.2.2** *Volumen de producción de cemento en Lafarge Cementos S.A.* Posee 2 líneas de producción con una capacidad de 2200 toneladas diarias de cemento cada una. Las líneas de producción responden al proceso de fabricación en el anexo A.

**3.1.2.3** *Estructura organizacional.* El Organigrama de la gerencia y sus secciones de mantenimiento de Lafarge Cementos se lo puede observar en el anexo C.

**3.1.2.4** *Descripción del departamento de mantenimiento.* Lafarge Cementos cuenta con 2 líneas de producción de cemento, trabajando en tres turnos de 8 horas cada uno. Con alrededor de unas 44 personas pertenecientes al área de mantenimiento entre jefes, supervisores, técnicos mecánicos y eléctricos, instrumentistas, lubricadores, bodegueros, etc. El costo de mantenimiento mensual es de \$ 610000 aproximadamente, y su producción según cifras del INECYC y el Instituto Ecuatoriano de la Construcción en el mes de marzo del presente año es alrededor de 108446 toneladas de cemento en total. El departamento de mantenimiento es parte del nivel operativo, la cual está al mando la Gerencia de Producción. La Gerencia de Mantenimiento con un gerente y dos colaboradores, tienen tres jefaturas importantes como son Mecánica, Eléctrica y Métodos.

Mantenimiento Mecánico; constituido por un jefe, 3 supervisores, siete técnicos y un ayudante, se encargan de la planificación, control y ejecución de las actividades correctivas y preventivas de los mecanismos en los equipos dentro de las líneas de producción, de igual manera pero en el área eléctrica, Mantenimiento Eléctrico; está compuesto por un jefe, asesor, dos supervisores, siete electricistas y un instrumentista.

La Jefatura de Método está conformada por cuatro secciones de las que están como responsables dos lubricadores, tres inspectores, un dibujante y dos planificadores que coordinan los trabajos con el programador. Cada día es entregada una orden por trabajo al personal que ejecuta el mantenimiento, los cuales trabajan en tres turnos en la que se dividen de manera rotativa. Existe una bodega exclusivamente para mantenimiento, conformada por dos bodegueros que son supervisados.

La programación de los trabajos se lo realiza mediante la utilización del software “IBM Máximo Asset Management”, el cual es establecido en toda la organización estando así conectado con la producción y el desempeño del mantenimiento. Las actividades de mantenimiento predictivas y monitoreo de condición en la mayoría de equipos, se subcontrata a personal externo, esa información monitorizada es transmitida al software para su programación.

### 3.1.3 *Industrias Guapán S.A. [29]*

La compañía Industrias Guapán es una empresa dedicada a la explotación de las minas de caliza y la producción de cemento. Fundada en Julio de 1955, que hoy por hoy es una de las empresas más grandes del austro, su capital proviene principalmente del Estado en la figura del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social.

En el año de 1991 puso en funcionamiento su planta de producción por vía seca con una capacidad instalada de 1.300 toneladas métricas de cemento por día, siendo en la actualidad su capacidad efectiva de 1.000 toneladas por día de clinker. Actualmente Cementos Guapán maneja un volumen de producción del orden de 450.000 toneladas por año de cemento Portland puzolánico, el cual se encuentra regulado bajo la Norma INEN 490 como en todas las empresas cementeras del país.

La compañía Industrias Guapán ha logrado un progreso sostenido y cuenta con un excelente equipo renovado gracias al talento humano de administradores, técnicos y obreros que aportan con trabajo, esfuerzo, creatividad y tesonera entrega.

Cementos Guapán ha implementado una planta automática de dosificación de concreto con una red de transporte de unidades hormigoneras (mixer) para la región austral del país así como Holcim Ecuador y Lafarge Cementos. Están trabajando intensamente para el cambio de tecnología en varios aspectos de su línea de producción y se quiere implementar el Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001:2008 ya que poseen la versión anterior.

#### 3.1.3.1 *Ubicación de Industrias Guapán S.A.*

##### **Planta. Cementos Guapán**

##### a) Macro-localización.

País: Ecuador

Región: Sierra

Provincia: Cañar

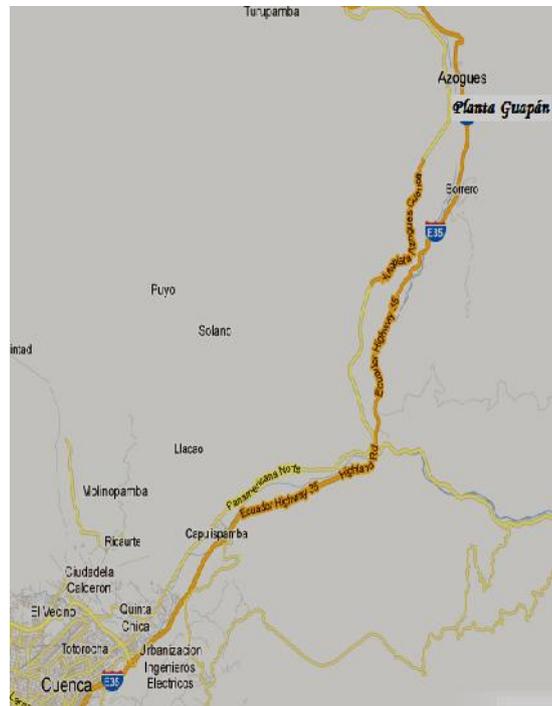
##### b) Micro-localización.

Cantón: Azogues

Parroquia: Guapán

Ubicación: kilómetro 1 ½ vía a Guapán paralela a la calle Trajano Carrasco Baquero

**Figura 38.** Ubicación de la planta Guapán.



Fuente. <http://maps.google.com.ec>

**3.1.3.2** *Volumen de producción de cemento en Industrias Guapán S.A.* Posee una línea de producción con un horno rotativo. Con capacidad de 1100 toneladas métricas diarias. La línea de producción responde al proceso de fabricación del cemento en el anexo A.

**3.1.3.3** *Estructura organizacional.* El Organigrama de la Gerencia de Planta y sus secciones, particularmente de mantenimiento se lo puede observar en el anexo D.

**3.1.3.4** *Descripción del departamento de mantenimiento.* Industrias Guapán cuenta con un total de 38 personas entre jefes, supervisores, mecánicos, eléctricos e instrumentistas, considerando la labor de actividades en 3 turnos de trabajo de 8 horas cada uno. El costo aproximado de mantenimiento mensual es de \$ 410000 y su producción según el INECYC y el Instituto Ecuatoriano de la Construcción en el mes de marzo del presente año es alrededor de 30365 toneladas de cemento portland.

El departamento de mantenimiento de Industrias Guapán SA esta comandado por una Superintendencia de Mantenimiento la cual depende jerárquicamente de un apoderado especial. La Superintendencia de Mantenimiento está conformada por un

superintendente, un ingeniero de logística y transporte. Mantenimiento en cementos Guapán está dividido en cuatro departamentos y 2 unidades, las cuales son:

- *Departamento de Mantenimiento Eléctrico*; con un jefe, un ingeniero eléctrico y un supervisor, que respectivamente planifican, controlan y supervisan los trabajos preventivos, predictivos y correctivos para que el personal los ejecute. El Taller Eléctrico está conformado por; 1 supervisor y 8 electricistas. El Taller Termoeléctrico por 2 tableristas.
- *Departamento de Ingeniería Civil*; con un jefe, un Ing. civil y un albañil de planta, los cuales elaboran y ejecutan proyectos de adecuación y mantenimiento en infraestructura.
- *Departamento de Mantenimiento Mecánico*; compuesto por un jefe, un supervisor y una secretaria ejecutiva, son encargados de coordinar y supervisar todas las actividades de mantenimiento mecánico, y los que ejecutan son las secciones de; Mecánica General por un auxiliar de programación, 4 lubricadores y 11 mecánicos, distribuidos en tres turnos de trabajo, y Mecánica industrial compuesta por un soldador, dos torneros o fresadores y un forjador.
- *Departamento de Instrumentación*; con un jefe y seis instrumentistas, de lo que se planifica y ejecutan proyectos de automatización, monitoreo de condiciones y el mantenimiento predictivo.
- *Unidad de Mantenimiento Programado*; conformada por un ingeniero y un auxiliar de esta unidad, los cuales son encargados de planificar y regular la ejecución de las actividades de mantenimiento preventivo y predictivo.
- *Unidad de Mantenimiento Automotriz*; con un ingeniero, un mecánico y electricista automotriz, un soldador, un ayudante y dos oficinistas

Cada uno de los departamentos y unidades de mantenimiento forman parte de la gestión asistida por SisMAC.

Las órdenes de trabajo son ejecutadas por los técnicos designados por el programa y los administradores de las unidades y departamentos.

El control y análisis de los costos generados por mantenimiento, ya sea en bodega y los recursos utilizados, son compartidos y analizados por el sistema ERP de la empresa, muy independiente del SisMAC.

### 3.1.4 *Cemento Chimborazo C.A. [30]*

La Empresa Cemento Chimborazo C.A. se encuentra en el mercado desde el año 1951. Con un perfil dinámico y eficiente ingresa al nuevo siglo con una dimensión cada vez más destacada en la producción de materiales de muy alta calidad para la industria ecuatoriana, la cual tiene por objeto la explotación del cemento, cales y calizas, así como de todas las sustancias necesarias para su producción de energía eléctrica.

En el 2011 la Cemento Chimborazo realizó la apertura de la fábrica ecuatoriana de Prefabricados de Hormigón, con una inversión de 15 millones de dólares, dando un giro importante en el negocio e incrementando su oferta de productos al mercado.

La producción de cemento hasta finales del año 2011 era de 350.000 toneladas anuales, con una clara proyección de crecimiento para mediados del 2012 a 900.000 mil toneladas, gracias a nuevas inversiones en maquinaria y equipo.

Recientemente se está implementado su segunda línea productiva. Cemento Chimborazo es la principal fuente de empleo en la provincia de Chimborazo, con 408 plazas de trabajo creadas hasta Abril del 2011, entre obreros, técnicos y personal administrativo.

#### 3.1.4.1 *Ubicación de Cemento Chimborazo C.A*

##### **Planta.** *San Juan Chico*

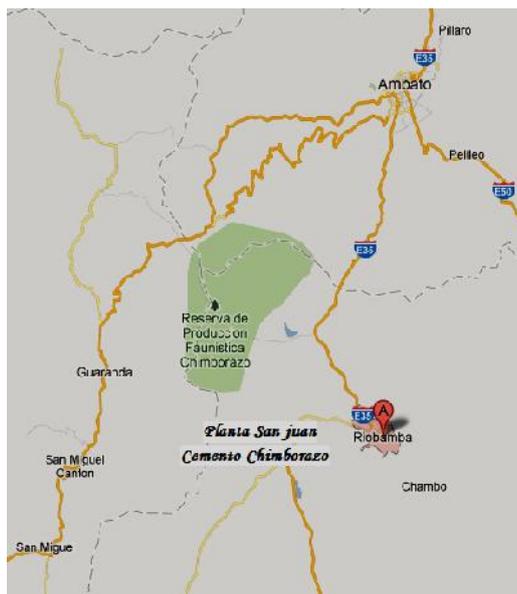
##### *a) Macro-localización.*

País: Ecuador  
Región: Sierra  
Provincia: Chimborazo

##### *b) Micro-localización.*

Cantón: Riobamba  
Parroquia: San Juan  
Ubicación: San Juan Chico, Km 14 vía a la Costa.

**Figura 39:** Ubicación de la planta San Juan chico de Cemento Chimborazo.



Fuente. <http://maps.google.com.ec>

**3.1.4.2** *Volumen de producción de cemento en Cementos Chimborazo CA.* Actualmente posee una línea de producción con un horno rotativo. Con capacidad de 1100 toneladas métricas diarias. Con miras a implementar la 2da. línea de producción, respondiendo al proceso de fabricación del cemento en el anexo A.

**3.1.4.3** *Estructura organizacional.* El organigrama de cada planta cementera de Cemento Chimborazo se lo puede observar en anexo E.

**3.1.4.4** *Descripción del departamento de mantenimiento.* Cemento Chimborazo posee dos áreas de producción, cemento y prefabricados. Particularmente la planta de cementos está compuesta de manera organizada por una Gerencia Técnica, la cual es la máxima autoridad de los departamentos de mantenimiento, que están formados en tres secciones, de las cuales tenemos a:

- *Mantenimiento Mecánico;* compuesto por un jefe, dos supervisores, y un asistente en lo administrativo. En las actividades de ejecución del mantenimiento, sea de forma correctiva o preventiva, se cuenta con dos grupos de cinco técnicos cada uno, los cuales trabajan en forma rotativa por dos turnos de 8 horas cada uno.
- *Mantenimiento Eléctrico;* trabaja de una forma similar a Mantenimiento Mecánico, solo que intervienen en revisiones y trabajos en elementos y sistemas eléctricos.
- *Mantenimiento Programado;* está compuesta por un jefe y un asistente en la administración, además dos técnicos de mantenimiento preventivo, dos

programadores y dos lubricadores. El programador se encarga de planificar los trabajos diarios a cargo de la utilización del software “JD Edwards Enterprise One”, aunque no se lo utiliza de manera completa para con prefabricados. Es un ERP con prestaciones de administración de recursos, generación de trabajos, control de bienes, realización de reportes y gestión del talento humano. El cual está implementado en la planta de producción de cemento a raíz que se dejó de utilizar SisMAC. Cabe recalcar el proceso de transición en la función de mantenimiento por el cambio de software.

JD Edwards Enterprise One tiene mayor provecho su implementación en el total de la empresa, lo cual ha hecho que el área de mantenimiento trabaje con la generación constante de órdenes de trabajo, y supervisores que llevan el seguimiento de las actividades. Se cuenta con un total estimado de 32 personas entre jefes, supervisores, mecánicos, eléctricos e instrumentistas por 2 turnos diarios de 8 horas cada uno. El costo de mantenimiento mensual aproximado es de \$ 240000, y su producción según INECYC y el Instituto Ecuatoriano de la Construcción en el mes de marzo del presente año es alrededor de 60000 toneladas de cemento.

### **3.2 Análisis y diagnóstico de la gestión del mantenimiento en las cementeras del Ecuador.**

Par la determinación del análisis y diagnóstico de la gestión del mantenimiento en las cementeras del país es necesario establecer el contacto con su personal y enlazar información mediante una encuesta para determinar la situación actual en este ámbito.

La finalidad de practicar una encuesta al departamento de mantenimiento, es para definir los puntos o aspectos implementados correctamente, que tengan regularidades, deficiencia o inconformidades en la organización.

La auditoría practicada cubre las áreas que van desde la identificación de la empresa hasta el uso de las herramientas de gestión, basadas en seis puntos principales del formulario a llenar (ver anexo G).

Se tomó en cuenta un rango de calificación del 1-5, dividido en 3 partes; alta, media y baja, tomando en consideración el aviso de alerta por colores; verde, amarillo y rojo respectivamente como se muestra en la tabla 4.

Se puntualiza aspectos de implementación en las gráficas de estadística descriptiva, resumiendo así los resultados obtenidos.

Se utilizó un Muestreo Intencional, deliberado o no probabilístico, el cual consiste en seleccionar de modo directo a los participantes más representativos por la calidad de información que puedan generar del total del personal de mantenimiento en el estudio como por ejemplo a jefes, supervisores y programadores.

**Tabla 4.** Aspectos de evaluación.

Porcentaje	CONSIDERACIÓN PARA LA CALIFICACIÓN	DESIGNACIÓN
$20 \leq \% < 50$	$1.0 \leq \text{puntaje} < 2.5$ : Aspectos con deficiencias.	
$50 \leq \% < 75$	$2.5 \leq \text{puntaje} < 3.75$ : Aspecto regular.	
$75 \leq \% \leq 100$	$3.75 \leq \text{puntaje} \leq 5.0$ : Aspecto bien implementado	

Fuente. El autor

De acuerdo a los resultados globales de las encuestas, encaminadas a determinar la situación actual en la que se desenvuelve la gestión manual del mantenimiento de cada uno de los departamentos de la industria cementera ecuatoriana tenemos en consideración:

**3.2.1** *Presentación de resultados de Holcim Ecuador S.A.* En ambas plantas de producción se manejan los mismos parámetros y directrices, además el desempeño en las labores y la gestión del mantenimiento es similar, por lo que se generaliza su estudio.

- *Sectorización de la planta:* Existe una separación de áreas definidas por algunos criterios, debido a la implementación de las normas internacionales ISO y OHSAS. La separación por líneas productivas, están identificadas muy claramente ya que el proceso lo exige así. La codificación de los equipos es apropiada a la situación.
- *Criticidad de los equipos:* Existen criterios básicos para determinar la criticidad de los equipos. Se cuantifica la incidencia de una falla sobre otro equipo, realizando estimaciones de pérdida en la producción. Según experiencia del personal de mantenimiento que identifica observación y mejoras.
- *Dimensionamiento de los tiempos de mantenimiento:* Se encuentran definidos los tiempos de mantenimiento ante una falla imprevista. El volumen de trabajo del

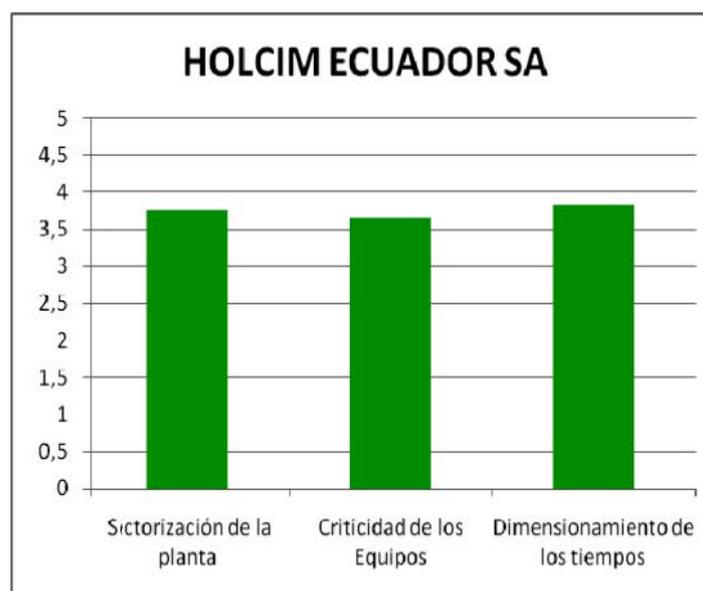
personal interno es monitoreado, cuando aumenta se solicita servicio de contratistas o personal fuera del sistema, se recurre a la comparación de información de las alternativas existentes.

**Tabla 5.** Criticidad de rutas de inspección en Holcim Ecuador.

B) Criticidad de rutas de inspección			
Preguntas	Aspectos considerados	Valor	Calificación
B1,B2,B5,B6	Sectorización de la planta	3,75	Aspecto bien implementado
B3,B4,B7,B8,B9	Criticidad de los Equipos	3,8	Aspecto bien implementado
B10,B11	Dimensionamiento de los tiempos	3.83	Aspecto bien implementado
<b>Promedio:</b> aspecto bien implementado		3,79	

Fuente. El autor

**Figura 40.** Criticidad de rutas de inspección en Holcim Ecuador.



Fuente. El autor

- *Información sobre los equipos:* La información registrada de los equipos se almacena en estantes definidos y los documentos se guardan según especie, se guardan las modificaciones de los equipos en la base de datos del sub módulo PM del SAP. La mayor parte de los equipos poseen programas de trabajos de mantenimiento según su importancia en el proceso.

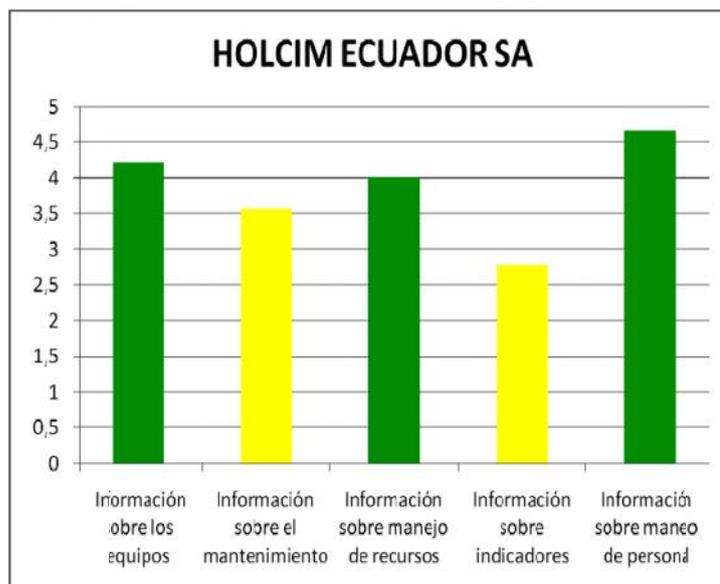
- *Información sobre el mantenimiento:* En la mayoría de intervenciones están definidos los procedimientos de mantenimiento, los registros de reparaciones, catálogos, y los planos están almacenados en libros y estantes. El tiempo de intervenciones son registradas de la mayor parte. Los equipos que no son registrados se mantienen al margen del sistema.
- *Información sobre manejo de recursos:* La designación de recursos, horas hombre y herramientas, son administrados por distintas áreas las cuales se interactúan. Se realiza el estudio de la disponibilidad de repuestos y herramientas que requiere cada intervención, ayudados por el sub módulo PM SAP.
- *Información sobre indicadores:* Se tiene en consideración el registro de indicadores financieros, además se lleva un control de lo gastado por mantenimiento, que se interactúa directamente con la información de producción y la administración general, la mayoría de indicadores de clase mundial se los calcula mediante plantillas de Excel de manera especial a cada equipo. La información para llevar índices de control de eficiencia es estimada, requiere de mayor capacitación para la aplicación en el tema.
- *Información sobre manejo de personal:* Se lleva un registro de las personas que operan los equipos y la formación es muy buena. La experiencia es transmitida entre los integrantes de la organización, por lo general los técnicos más antiguos son el punto de referencia. La capacitación es establecida por secciones, y de forma constante para las intervenciones de mantenimiento y producción.

**Tabla 6.** Manejo de la información sobre equipos en Holcim Ecuador.

C) Manejo de la información sobre equipos			
Preguntas	Aspectos considerados	Valor	Calificación
C1,C2,C4	Información sobre los equipos	4,2	Aspecto bien implementado
C3,C5,C6	Información sobre el mantenimiento	3,55	Aspecto regular
C7,C8,C9,C12	Información sobre manejo de recursos	4	Aspecto bien implementado
C10,C11,C15	Información sobre indicadores	2,78	Aspecto regular
C13,C14	Información sobre manejo de personal	4,67	Aspecto bien implementado
<b>Promedio:</b> aspecto bien implementado		3.84	

Fuente. El autor

**Figura 41.** Manejo de la información sobre equipos en Holcim Ecuador



Fuente. El autor

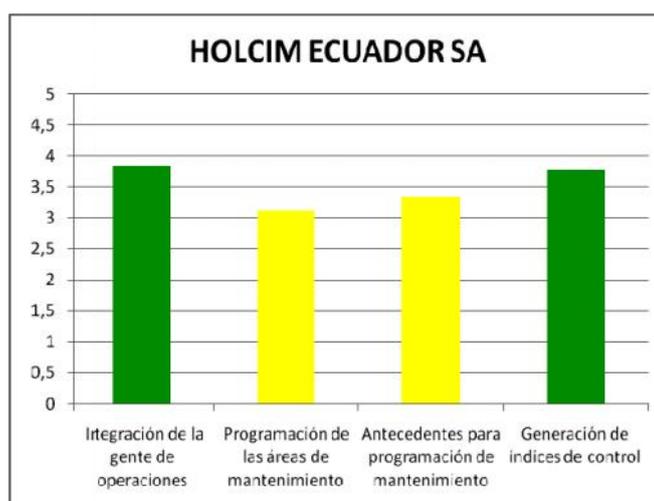
- *Integración de la gente de operación:* Los operarios realizan actividades relacionadas solamente con la operación de los equipos, ante una falla imprevista solicitan la presencia del personal de mantenimiento. En ocasiones colaboran con actividades de inspección, e informan anomalías.
- *Programación de las tareas de mantenimiento:* Los programadores y jefes de cada sección planifican el mantenimiento diario según una planificación establecida en el sistema SAP. La mayoría de actividades son establecidas por las circunstancias y en ocasiones no se ajusta al programa anual de mantenimiento. Existen acumulaciones de actividades pero se las solventa reprogramando algunas actividades pendientes.
- *Antecedentes para programar el mantenimiento:* El abastecimiento de las herramientas es ideal. Gracias a la muy buena administración de información de los recursos por parte de SAP. En algunos casos el número de trabajos pendientes no son contabilizados, por lo que se reorganiza las actividades con frecuencia para optimizar el programa.
- *Generación de índices de control y de retroalimentación:* El registro de trabajos de emergencia y programados es evaluado en el mayor número de maquinarias. Se realiza un registro de los tiempos que se demoran los mantenedores en la mayor parte de intervenciones. Esto se toma en consideración para asignar nuevas tareas.

**Tabla 7.** Mantenimiento actual en Holcim Ecuador.

D) <i>Mantenimiento actual</i>			
Preguntas	Aspectos considerados	Valor	Calificación
D1,D2	Integración de la gente de operaciones	3,83	Aspecto bien implementado
D3,D4,D10	Programación de las tareas de mantenimiento	3,11	Aspecto regular
D5,D6,D7,D9	Antecedentes para programación de mantenimiento	3,33	Aspecto regular
D8,D11,D12,D13,D14,D15	Generación de índices de control	3,77	Aspecto bien implementado
<b>Promedio:</b> aspecto regular		3,51	

Fuente. El autor

**Figura 42.** Mantenimiento actual en Holcim Ecuador.



Fuente. El autor

- *Análisis de reemplazos de equipos:* Los equipos se reemplazan una vez terminada su vida útil, además se realiza el cálculo de depreciación y evaluación económica desde el módulo de activos físicos del SAP R/3. Todos los equipos tienen información de su adquisición.
- *Análisis de costos por fallo:* Los repuestos y herramientas son administrados de forma regular y el personal de mantenimiento lleva un registro de recursos, los costos que generan estos son controlados por el sistema. Entonces se tiene en consideración el presupuesto que generan las fallas más comunes de los equipos, pero no de la influencia de cada una de las fallas con el proceso.

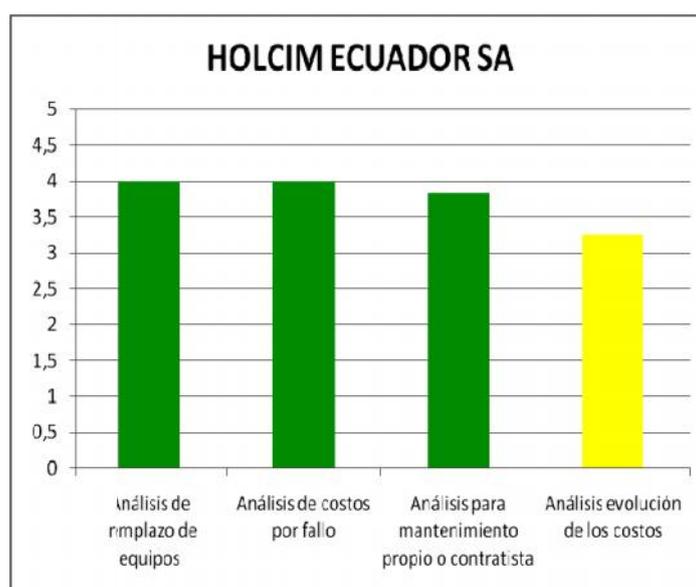
- *Análisis para mantenimiento propio o contratista:* Existe una relación adecuada entre la cantidad del personal de mantenimiento y producción. Cuando las actividades sobrepasan el límite que el personal propio puede abastecer, se subcontrata y los recursos materiales son adquiridos de una manera ágil. Las políticas de mantenimiento toman su forma en base a los costos generados.
- *Análisis de evaluación de costos:* Se puede medir la desviación entre el costo real y el costo presupuestado además de un control de costo por equipo y gastos de mantenimiento. El estudio estadístico de los gastos de mantenimiento por equipo se lo realiza en Excel. La definición del tamaño de inventario para una disponibilidad del equipo es establecida por SAP.

**Tabla 8.** Manejo de costos de mantenimiento en Holcim Ecuador.

E) Antecedentes de costos de mantenimiento			
Preguntas	Aspectos considerados	Valor	Calificación
E1,E2,E3,E7	Análisis de remplazo de equipos	4	Aspecto bien implementado.
E4,E5,E6,E8	Análisis de costos por fallo	4	Aspecto regular.
E9,E14,E15	Análisis para mantenimiento propio o contratista	3,83	Aspecto bien implementado.
E10,E11,E12,E13	Análisis de la evolución de los costos	3,25	Aspecto regular.
<b>Promedio:</b> aspecto bien implementado		3,77	

Fuente. El autor

**Figura 43.** Manejo de costos de mantenimiento en Holcim Ecuador.



Fuente. El autor

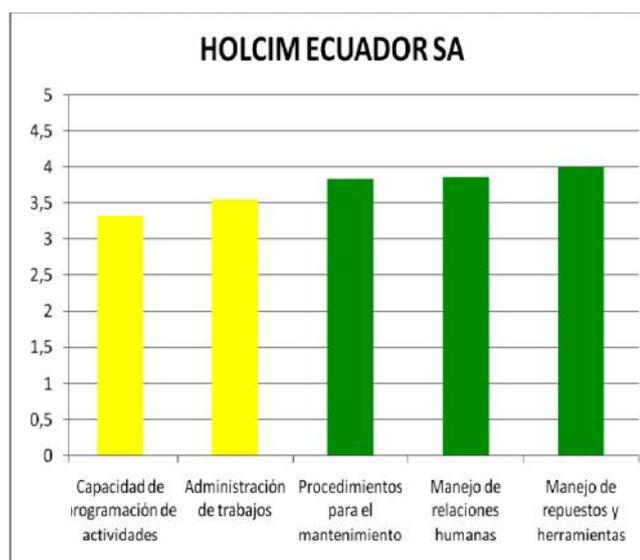
- *Capacidad de programación de actividades:* Se establece la relación de paros programados y paros imprevistos, como una referencia de las intervenciones de emergencia que se tienen al año para presentar algunas alternativas de mejoramiento. Se cumple el programa de trabajos programados de mantenimiento de una forma regular, ya que existen diversas actividades que modifican lo establecido. Los trabajos pendientes son cada vez más controlados, aunque falta establecer soluciones que mejoren la ejecución de los trabajos programados. La relación de tiempo extra y tiempo para trabajos programados es baja.
- *Administración de trabajos:* Se lleva un control del estado de avance de las órdenes de trabajo pero no se tiene un seguimiento total de las mismas. Existe un retraso aceptable en el lapso de tiempo medio entre el aviso de la falla y la emisión de la OT. El tiempo medio de aprobación de una orden de trabajo es instantánea, de acuerdo al software SAP.
- *Procedimientos para el mantenimiento:* Se definen los procedimientos para realizar el mantenimiento preventivo de acuerdo a la información de los equipos, materiales y talento humano, en donde se toma en cuenta su disponibilidad. Los procedimientos se determinan para enfrentar el mantenimiento correctivo con los recursos necesarios.
- *Manejo del talento humano:* La relación entre la gente de operación y la gente de mantenimiento es muy buena, e incluso participan en actividades de inspección en conjunto. La actitud de la administración superior hacia mantenimiento es comunicativa, por lo general se establecen contactos directos en las actividades y la colaboración de los departamentos relacionados con mantenimiento son aceptables, cabe recalcar que algunos departamentos no tienen en consideración el servicio que presta mantenimiento a las instalaciones. El nivel de capacitación es acorde a la tecnología del equipamiento pero el nivel de rotación del personal de mantenimiento es muy bajo.
- *Manejos de repuestos y herramientas:* Los repuestos de los equipos de la planta son almacenados en grandes cantidades en bodegas, donde existen inventarios, control de stock y proveedores. Hay suficientes herramientas y equipos de trabajo según los pedidos que desarrolle mantenimiento. Se define el punto de equilibrio de la cantidad de repuestos en bodega adecuadamente gracias a la gestión de bodegas mediante del SAP.

**Tabla 9.** Efectividad del mantenimiento actual en Holcim Ecuador.

F) Efectividad del mantenimiento actual			
Preguntas	Aspectos considerados	Valor	Calificación
F1,F2,F8,F9	Capacidad de programación de actividades	3,33	Aspecto regular
F3,F4,F5	Administración de trabajos	3,56	Aspecto regular
F6,F7	Procedimientos para el mantenimiento	3,83	Aspecto bien implementado
F10,F11,F12,F13,F14	Manejo del talento humano	3,87	Aspecto bien implementado
F15,F16	Manejo de repuestos y herramientas	4,5	Aspecto bien implementado
<b>Promedio:</b> aspecto bien implementado		3,88	

Fuente. El autor

**Figura 44.** Efectividad del mantenimiento actual en Holcim Ecuador.



Fuente. El autor

### 3.2.2 Presentación de resultados de Lafarge Cementos S.A.

- *Sectorización de la planta:* Existe una separación de áreas definidas por algunos criterios de seguridad, ubicación y proceso. Además las líneas productivas están bien señaladas e identificadas muy claramente ya que el proceso lo exige así. La codificación de los equipos es apropiada a la situación.
- *Criticidad de los equipos:* Existen criterios básicos para determinar la criticidad de los equipos. Aunque no se cuantifica la incidencia de una falla sobre otro

equipo realizan estimaciones según experiencia del personal de mantenimiento que identifica claramente las observaciones

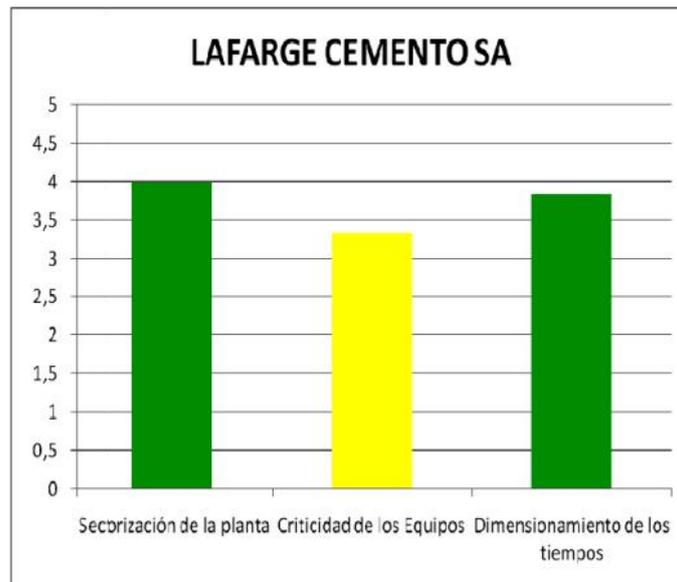
- *Dimensionamiento de los tiempos de mantenimiento:* Se encuentran definidos los tiempos de mantenimiento estándar, los cuales han sido ingresados a la base de datos de “IBM Máximo asset management” un software de administración de recursos empresariales (EAM). El volumen de trabajo del personal interno es monitoreado y se analiza la conveniencia para adquirir el servicio de contratistas, que por lo general se efectúa con trabajos de gran envergadura.

**Tabla 10.** Criticidad de rutas de inspección en Lafarge Cementos.

B) Criticidad de rutas de inspección			
Preguntas	Aspectos considerados	Valor	Calificación
B1,B2,B5,B6	Sectorización de la planta	4	Aspecto bien implementado
B3,B4,B7,B8,B9	Criticidad de los Equipos	3,4	Aspecto regular
B10,B11	Dimensionamiento de los tiempos	4	Aspecto bien implementado
<b>Promedio:</b> aspecto bien implementado		3,8	

Fuente. El autor

**Figura 45.** Criticidad de rutas de inspección en Lafarge Cementos.



Fuente. El autor

- *Información sobre los equipos.* La información registrada de los equipos se almacena en estantes definidos y los documentos se guardan según especie, se

registran las modificaciones de los equipos en la base de datos. La mayor parte de los equipos poseen programas de trabajos de mantenimiento según la importancia.

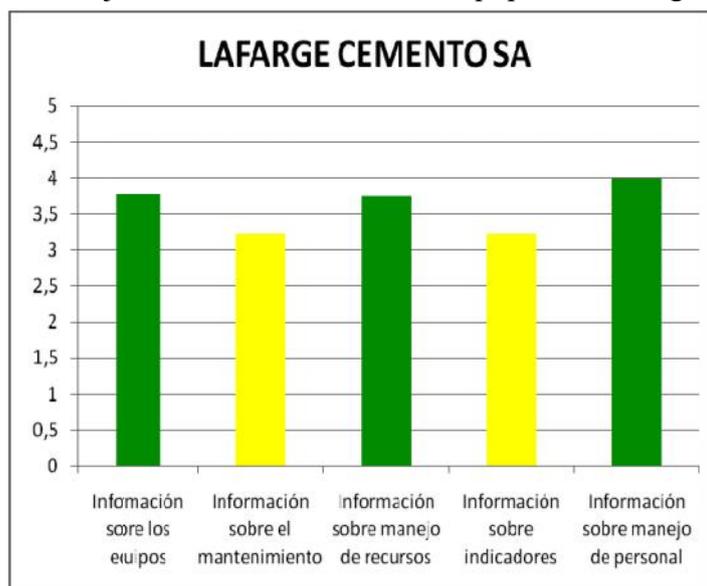
- *Información sobre el mantenimiento.* En la mayoría de intervenciones están definidos los procedimientos de mantenimiento, los registros de reparaciones, catálogos y planos están almacenados y registrados en libros, estantes y la base de datos del software Máximo. El tiempo de las intervenciones son registradas en el sistema, mediante la información de los órdenes de trabajo. Los equipos pequeños que no son registrados su intervención se mantienen al margen del sistema.
- *Información sobre manejo de recursos.* La designación de recursos, horas hombres y herramientas, son administrados a distintas áreas de mantenimiento. Los supervisores realizan el estudio de la disponibilidad de repuestos y herramientas que requiere cada intervención.
- *Información sobre indicadores:* Se tienen indicadores de costos de mantenimiento y control financiero de todos los activos y materiales de mantenimiento. Los indicadores de clase mundial, son aplicados mediante la utilización de plantillas de Excel por parte del planificador. Se lleva la información de índices de control de eficiencia en función de los trabajos realizados.
- *Información sobre manejo de personal.* Se lleva un registro de las personas que operan los equipos. La experiencia del personal de mantenimiento es transmitida entre integrantes, por lo general los operarios comparten experiencia. La capacitación para mantenedores y operarios de equipos es constante y oportuna.

**Tabla 11.** Manejo de la información sobre equipos en Lafarge Cementos.

C) Manejo de la información sobre equipos			
Preguntas	Aspectos considerados	Valor	Calificación
C1,C2,C4	Información sobre los equipos	3,78	Bien implementado
C3,C5,C6	Información sobre el mantenimiento	3,22	Aspecto regular
C7,C8,C9,C12	Información sobre manejo de recursos	3,75	Aspecto bien implementado
C10,C11,C15	Información sobre indicadores	3,22	Aspecto regular
C13,C14	Información sobre manejo de personal	4	Aspecto bien implementado
<b>Promedio:</b> aspecto regular		3,59	

Fuente. El autor

**Figura 46.** Manejo de la información sobre equipos en Lafarge Cementos.



Fuente. El autor

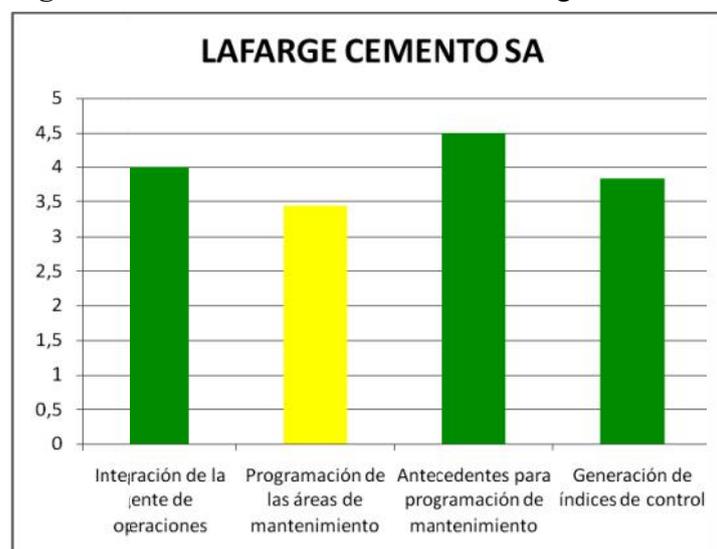
- *Integración de gente de operaciones.* Los operarios realizan actividades relacionadas solamente con la operación de los equipos, ante una falla imprevista solicitan la presencia del personal de mantenimiento. En ocasiones colaboran con actividades de inspección.
- *Programación de las tareas de mantenimiento.* Poseen programas de mantenimiento diario o rutinario. La mayoría de actividades son establecidas por las circunstancias y se trata de ajustar al programa anual de mantenimiento, establecido por el programa. Existen acumulaciones de actividades que dificultan la programación inicial.
- *Antecedentes para programar el mantenimiento.* El abastecimiento de las herramientas es ideal. La información registrada en la base de datos es de suma importancia para el pedido de recursos. El número de trabajos pendientes es contabilizado y reorganizado según lo planificado.
- *Generación de índices de control y de retroalimentación.* El registro de trabajos de emergencia y programados es evaluado constantemente en el mayor número de maquinarias. Se realiza un registro de los tiempos que se demoran los mantenedores en la mayor parte de intervenciones, esto se toma en consideración para vincular tareas similares.

**Tabla 12.** Mantenimiento actual en Lafarge Cementos.

D) <i>Mantenimiento actual</i>			
Preguntas	Aspectos considerados	Valor	Calificación
D1,D2	Integración de la gente de operaciones	4	Aspecto regular
D3,D4,D10	Programación de las tareas de mantenimiento	3,44	Aspecto regular
D5,D6,D7,D9	Antecedentes para programación de mantenimiento	4,5	Aspecto bien implementado
D8,D11,D12,D13, D14,D15	Generación de índices de control	3,83	Aspecto regular
<b>Promedio:</b> Aspecto bien implementado		3,94	

Fuente. El autor

**Figura 47.** Mantenimiento actual en Lafarge Cementos.



Fuente. El autor

- *Análisis de reemplazos de equipos.* Los equipos se reemplazan una vez terminada su vida útil, además se realizan el cálculo de depreciación y evaluación de manera adecuada. La información de la adquisición de los equipos está registrada en su totalidad.
- *Análisis de costos por fallo.* Los repuestos y herramientas son administrados de forma regular y el personal de mantenimiento lleva un registro de recursos y los costos que generan estos son controlados. Entonces se tiene en consideración el presupuesto que genera algunas de las fallas más comunes en la mayor parte de maquinarias. Pero no se desarrolla un estudio profundo de las causas de las fallas.

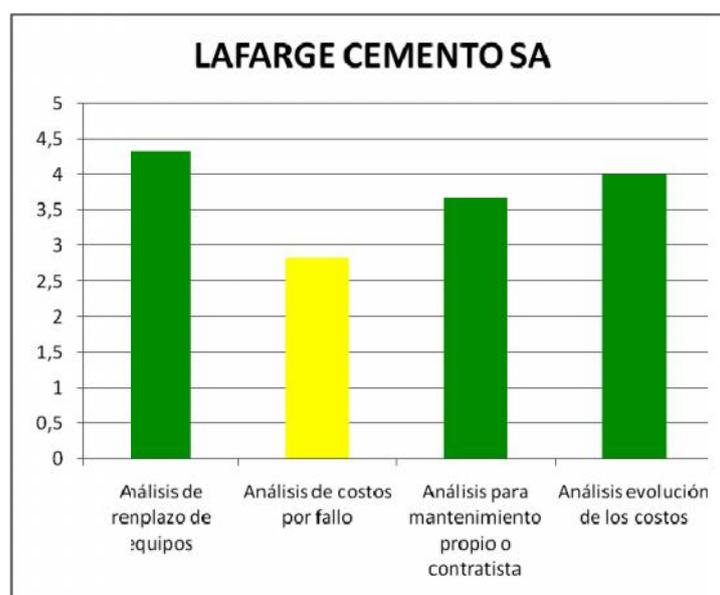
- *Análisis para mantenimiento propio o contratista.* Existe una relación adecuada entre la cantidad del personal de mantenimiento y producción. Se subcontrata cuando las actividades sobrepasan el límite que el personal propio puede abastecer, y los recursos materiales son adquiridos de una manera ágil. Las políticas de mantenimiento toman su forma en base a los costos generados.
- *Análisis de evaluación de costos.* Se puede medir la desviación entre el costo real y el costo presupuestado, además se establece un control de gastos de mantenimiento por equipo. El estudio estadístico de los gastos de mantenimiento por equipo es establecida por IBM Maximo.

**Tabla 13.** Manejo de costos de mantenimiento en Lafarge Cementos.

E) Antecedentes de costos de mantenimiento			
Preguntas	Aspectos considerados	Valor	Calificación
E1,E2,E3,E7	Análisis de remplazo de equipos	4,33	Aspecto bien implementado
E4,E5,E6,E8	Análisis de costos por fallo	3	Aspecto regular
E9,E14,E15	Análisis para mantenimiento propio o contratista	3,75	Aspecto bien implementado
E10,E11,E12,E13	Análisis de la evolución de los costos	4	Aspecto bien implementado
<b>Promedio:</b> Aspecto bien implementado		3,77	

Fuente. El autor

**Figura 48.** Manejo de costos de mantenimiento en Lafarge Cementos.



Fuente. El autor

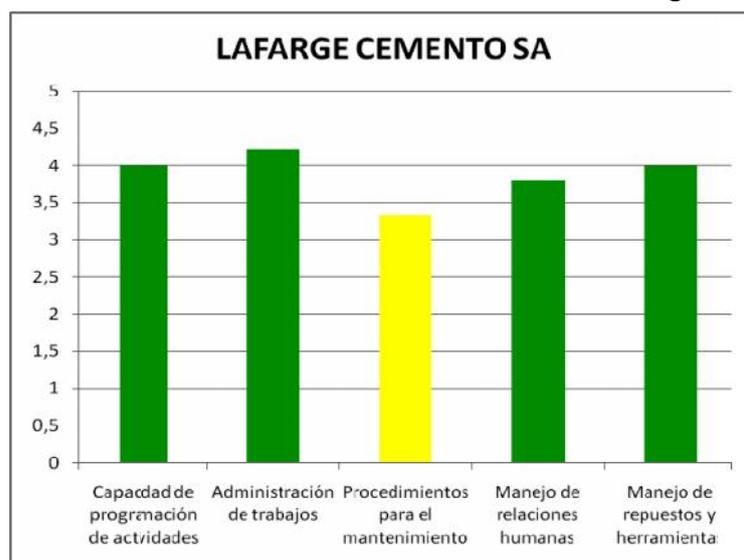
- *Capacidad de programación de actividades.* El planificador establece la relación de paros programados y paros imprevistos a determinado tiempo, trabajando en conjunto con todos los departamentos, y en especial, el jefe de métodos establece los cambios o renovación de estrategias para el mejoramiento.
- Se cumple el programa de trabajos programados de mantenimiento de forma regular, ya que existen diversas actividades que modifican lo establecido. Los trabajos pendientes son cada vez más controlados, aunque falta establecer soluciones que mejoren la ejecución de los trabajos programados. La relación de tiempo extra y tiempo para trabajos programados es baja.
- *Administración de trabajos.* Se lleva un control del estado de avance de las órdenes de trabajo mediante una supervisión rutinaria. Existe un retraso aceptable en el lapso de tiempo medio entre el aviso de falla y la emisión de la OT. Para la aprobación de las órdenes de trabajo de mantenimiento predictivo, se establece una pequeña demora.
- *Procedimientos para el mantenimiento.* Se han definido los procedimientos para realizar el mantenimiento preventivo de acuerdo a la información de los equipos, materiales y talento humano, tomando en cuenta su disponibilidad. Se han definido los procedimientos para enfrentar el mantenimiento correctivo con los recursos necesarios. No se ha tomado en cuenta la consideración de los modos de falla para optimizar los procedimientos.
- *Manejo del talento humano.* La relación entre la gente de operación y la gente de mantenimiento es muy buena que incluso participan en actividades de inspección en conjunto. La actitud de la administración superior hacia mantenimiento es comunicativa, por lo general se establecen contactos directos en las actividades y la colaboración de los departamentos relacionados con mantenimiento son aceptables, el mantenimiento a las instalaciones se lo asigna a contrataciones externas. El nivel de capacitación es acorde a la tecnología del equipamiento pero el nivel de rotación del personal de mantenimiento es muy bajo.
- *Manejos de repuestos y herramientas.* Los repuestos de los equipos de la planta son almacenados en cantidades reguladas en bodegas, donde existen inventarios, control de stock y proveedores. Las herramientas y equipos de trabajo según los pedidos que desarrolle mantenimiento son suficientes. Se ha definido el punto de equilibrio de la cantidad de repuestos en bodega adecuadamente.

**Tabla 14.** Efectividad del mantenimiento actual en Lafarge Cementos.

F) Efectividad del mantenimiento actual			
Preguntas	Aspectos considerados	Valor	Calificación
F1,F2,F8,F9	Capacidad de programación de actividades	4	Aspecto bien implementado
F3,F4,F5	Administración de trabajos	4,22	Aspecto bien implementado
F6,F7	Procedimientos para el mantenimiento	3,33	Aspecto regular
F10,F11,F12,F13,F14	Manejo del talento humano	3,8	Aspecto bien implementado
F15,F16	Manejo de repuestos y herramientas	4	Aspecto bien implementado
<b>Promedio:</b> aspecto bien implementado		3,87	

Fuente. El autor

**Figura 49.** Efectividad del mantenimiento actual en Lafarge Cementos.



Fuente. El autor

### 3.2.3 Presentación de resultados de Industrias Guapán S.A.

- *Sectorización de la planta.* Existe una separación de áreas definidas por criterios del proceso productivo, son identificadas muy claramente y el personal identifica algunas necesidades de señalización pero que no son de relevancia.
- *Criticidad de los equipos.* Mediante criterios de importancia de maquinarias según el desgaste, medio ambiente y salud se determina la criticidad de los equipos, no

se cuantifica la incidencia de una falla sobre otro equipo, llevan en un registro a los equipos de mayor incidencia, para priorizarles en el mantenimiento preventivo.

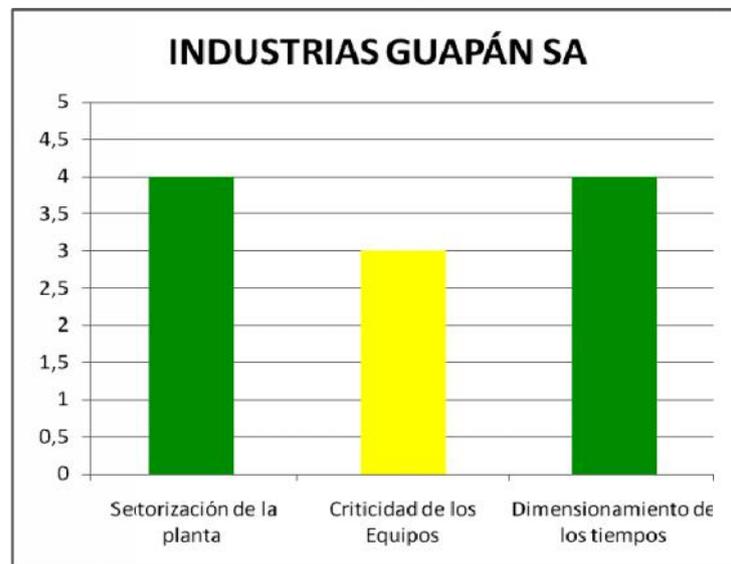
- *Dimensionamiento de los tiempos de mantenimiento.* Se definen los tiempos de mantenimiento ante una falla, ya que si poseen datos según experiencia y los manuales de intervención son comunes. Se determinan los tiempos para la ejecución de las tareas de mantenimiento en la mayoría de las áreas.

**Tabla 15.** Criticidad de rutas de inspección en Industrias Guapán.

B) Criticidad de rutas de inspección			
Preguntas	Aspectos considerados	Valor	Calificación
B1,B2,B5,B6	Sectorización de la planta	4,25	Aspecto bien implementado
B3,B4,B7,B8,B9	Criticidad de los Equipos	3	Aspecto regular
B10,B11	Dimensionamiento de los tiempos	4	Aspecto bien implementado
<b>Promedio:</b> aspecto bien implementado		3,82	

Fuente. El autor

**Figura 50.** Criticidad de rutas de inspección en Industrias Guapán.



Fuente. El autor

- *Información sobre los equipos.* La información registrada de los equipos se almacena en estantes definidos y los documentos se guardan según especie, todos los equipos están bien señalados y separados. SisMAC permite el ingreso de toda la información técnica de los equipos e instalaciones.

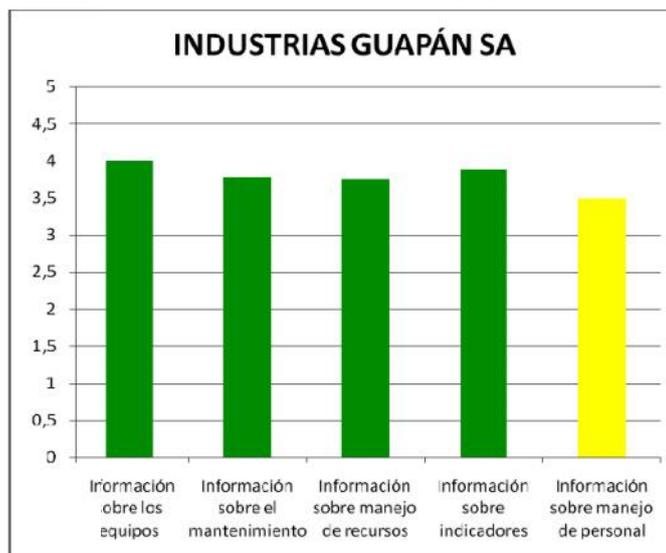
- *Información sobre el mantenimiento.* La mayoría de intervenciones están definidos sus procedimientos de mantenimiento por SisMAC, los registro de reparaciones, catálogos y planos están almacenados en libros, estantes y en el programa.
- *Información sobre manejo de recursos.* La designación de recursos, horas hombres y herramientas, son administrados por la experiencias del personal. Generalmente el software se basan en el estudio de los indicadores tales como el tiempo medio entre fallos y la disponibilidad de los recursos.
- *Información sobre indicadores.* El software tiene la capacidad de generar la mayoría de indicadores de clase mundial. Pero el personal desconoce la existencia de indicadores de gestión que evalúe su trabajo, aunque el personal administrativo de mantenimiento ha tratado de actualizarse, ya que tienen una base de datos como ventaja que si les que si les permite establecer nuevos objetivos.
- *Información sobre manejo de personal.* Las personas que operan los equipos, adquieren la experiencia que se traspa de operarios más antiguos, además existe un programa de capacitación para operarios. Tanto el personal de producción como el de mantenimiento son capacitados en sus funciones, pero no son separados por distintas áreas de las cuales se dispone.

**Tabla 16.** Manejo de la información sobre equipos en Industrias Guapán.

<i>C) Manejo de la información sobre equipos</i>			
<b>Preguntas</b>	<b>Aspectos considerados</b>	<b>Valor</b>	<b>Calificación</b>
C1,C2,C4	Información sobre los equipos	4	Aspecto bien implementado
C3,C5,C6	Información sobre el mantenimiento	3,78	Aspecto bien implementado
C7,C8,C9,C12	Información sobre manejo de recursos	3,75	Aspecto bien implementado
C10,C11,C15	Información sobre indicadores	3,88	Aspecto bien implementado
C13,C14	Información sobre manejo de personal	3,5	Aspecto regular
<b>Promedio:</b> Aspecto bien implementado		3,78	

Fuente. El autor

**Figura 51.** Manejo de la información sobre equipos en Industrias Guapán.



Fuente. El autor

- *Integración de la gente de operaciones.* Los operarios realizan actividades relacionadas solamente con la operación de los equipos, y son los primeros en avisar las anomalías del proceso, solicitando la presencia del personal de mantenimiento. Los operarios de las máquinas ayudan en las inspecciones de rutina, mediante información que pueda aportar a la labor de mantenimiento.
- *Programación de las tareas de mantenimiento.* Existen programas de mantenimiento elaborados por parte de un programador, basándose en la intervención de ciertos equipos, bitácoras y la experiencia de algunos colaboradores. Diariamente se elaboran las órdenes de trabajo, de las que el SisMAC emite a cada grupo de trabajo por parte de los jefes o ingenieros de cada sección.
- *Antecedentes para programar el mantenimiento.* Los antecedentes utilizados para programar el mantenimiento de la planta, son las fallas ocurridas y las actividades de mantenimiento correctivo realizados. La distribución de tareas se los realiza de manera jerárquica y se puede programar según la conveniencia del personal de programación, los cuales están asignados los jefes e ingenieros de cada sección. No se toman consideraciones de modos de fallas para optimizar la programación del mantenimiento.
- *Generación de índices de control y de retroalimentación.* Existen herramientas para una retroalimentación de la información registrada en el SisMAC. También

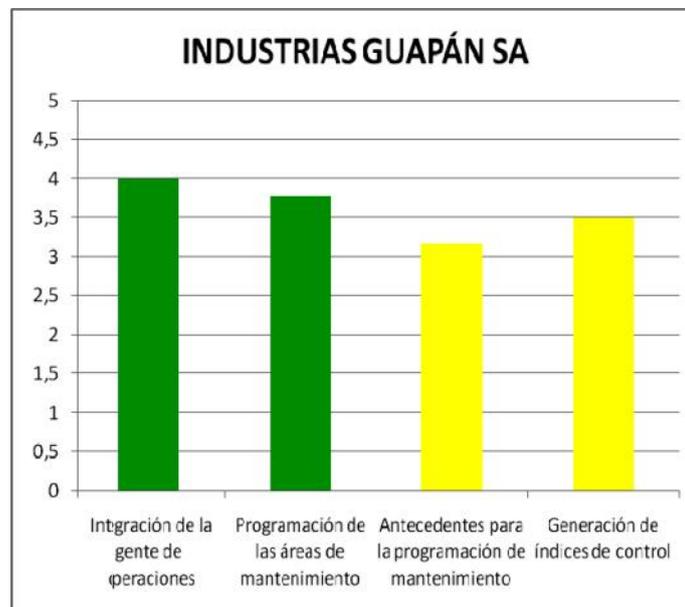
se almacena la información de las maquinarias en estanterías por grupo de equipos. Los tiempos de intervención no son registrados en su totalidad, solo se toman en cuenta el control de tiempo de las intervenciones más relevantes.

**Tabla 17.** Mantenimiento actual en Industrias Guapán.

<i>D) Mantenimiento actual</i>			
<b>Preguntas</b>	<b>Aspectos considerados</b>	<b>Valor</b>	<b>Calificación</b>
D1,D2	Integración de la gente de operaciones	4	Aspecto bien implementado
D3,D4,D10	Programación de las tareas de mantenimiento	3,78	Aspecto bien implementado
D5,D6,D7,D9	Antecedentes para la programación mantenimiento	3,17	Aspecto regular
D8,D11,D12,D13,D14,D15	Generación de índices de control	3,5	Aspecto regular
<b>Promedio: aspecto regular</b>		3,6	

Fuente. El autor

**Figura 52.** Mantenimiento actual en Industrias Guapán.



Fuente. El autor

- *Análisis de reemplazos de equipos.* Los equipos actualmente se reemplazan una vez terminada su vida útil. Cuando ya no aceptan más reparaciones, la dirección financiera mediante contabilidad, realiza el cálculo de depreciación y se evalúa su reemplazo.

- *Análisis de costos por fallo.* SisMAC entrega la información de costos para que un ERP lo evalúe, puntualizando las pérdidas económicas por fallo. Se realiza el control entre costo de mantenimiento y costo total del producto de una forma generalizada.
- *Análisis para mantenimiento propio o contratista.* Se puede asignar actividades difíciles a entidades contratadas. Existen tareas estándar para realizar con mano de obra propia. No se realiza un seguimiento a las contrataciones, lo que si se garantiza es el control de las propuestas y licitaciones para la participación de empresas ajenas a la organización.
- *Análisis de evaluación de costos.* Aunque si lleva un registro de gasto por mantenimiento por equipo no existe una herramienta adecuada para analizar costos por unidades productivas, el presupuesto para mantenimiento de los equipos de la planta es gestionado por el personal financiero.

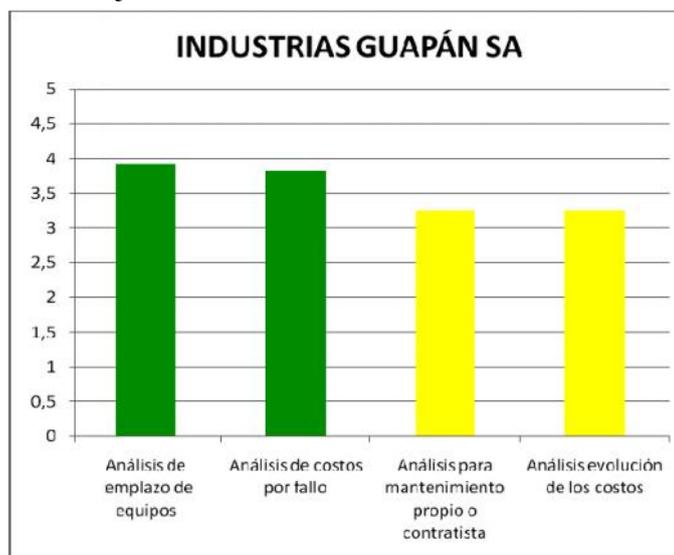
El control de los costos es de suma importancia que necesita mejoramiento al establecer desviaciones y datos estadísticos que ayudarían al establecimiento de indicadores de gestión, los cuales son el inicio de toma de decisiones en la ejecución del mantenimiento.

**Tabla 18.** Manejo de costos de mantenimiento en Industrias Guapán.

<i>E) Antecedentes de costos de mantenimiento</i>			
<b>Preguntas</b>	<b>Aspectos considerados</b>	<b>Valor</b>	<b>Calificación</b>
E1,E2,E3,E7	Análisis de remplazo de equipos	3,91	Aspecto bien implementado
E4,E5,E6,E8	Análisis de costos por fallo	3,83	Aspecto bien implementado
E9,E14,E15	Análisis para mantenimiento propio o contratista	3,25	Aspecto bien implementado
E10,E11,E12,E13	Análisis de la evolución de los costos	3,25	Aspecto regular
<b>Promedio:</b> Aspecto regular		3,56	

Fuente. El autor

**Figura 53.** Manejo de costos de mantenimiento en Industrias Guapán.



Fuente. El autor

- *Capacidad de programación de actividades.* La relación entre paradas imprevistas y programadas es baja, por tanto se cumplen en gran parte las actividades programadas. La relación de trabajos pendientes y trabajos realizados es alta, por lo que se evidencia un retraso en el cumplimiento del programa. La capacidad para realizar programación de actividades es definida por tareas específicas de actividades de los mantenedores.
- *Administración de trabajos.* La emisión de las órdenes de trabajo se las desarrolla de forma regular, cabe señalar que en algunos casos aumentan el número de trabajos pendientes por algún motivo. Además no se lleva un seguimiento de ejecución de las mismas. No se conoce el tiempo medio de aprobación de las órdenes de trabajo, por lo que es uno de los factores en los que se considera el atraso de las actividades.
- *Procedimientos para el mantenimiento.* Existe una política de mantenimiento que resalta la forma de realización de la mayor parte de tareas, y los procedimientos descritos para actividades correctivas y preventivas son explicadas por documentos. SisMAC distribuye los procedimientos en las órdenes de trabajo.
- *Manejo del talento humano.* La colaboración entre las diferentes áreas de mantenimiento con producción es muy buena, incluso existe la participación del personal operativo en actividades de inspección por motivos de mantenimiento.

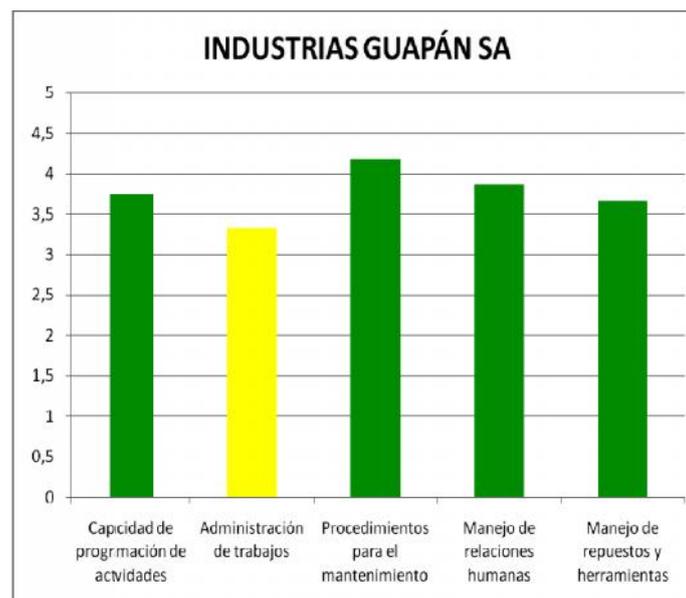
- *Manejos de repuestos y herramientas.* Los repuestos de los equipos de la planta son almacenados en grandes cantidades en bodegas, donde existen inventarios, control de stock y proveedores. Existe un registro de repuestos asociado a los equipos y frecuencia de cambios, obliga a la empresa a mantener un alto costo de repuestos almacenados. Las herramientas utilizadas por los mantenedores están designadas a cada área con las respectivas codificaciones y responsabilidades.

**Tabla 19.** Efectividad del mantenimiento actual en Industrias Guapán.

<i>F) Efectividad del mantenimiento actual</i>			
<b>Preguntas</b>	<b>Aspectos considerados</b>	<b>Valor</b>	<b>Calificación</b>
F1,F2,F8,F9	Capacidad de programación de actividades	3,75	Aspecto bien implementado
F3,F4,F5	Administración de trabajos	3,33	Aspecto regular
F6,F7	Procedimientos para el mantenimiento	4,17	Aspecto regular
F10,F11,F12,F13,F14	Manejo del talento humano	3,87	Aspecto bien implementado
F15,F16	Manejo de repuestos y herramientas	3,67	Aspecto bien implementado
<b>Promedio:</b> aspecto bien implementado		3,76	

Fuente. El autor

**Figura 54.** Efectividad del mantenimiento actual en Industrias Guapán.



Fuente. El autor

### 3.2.4 Presentación de resultados de Cemento Chimborazo C.A.

- *Sectorización de la planta.* Existe una separación de áreas definidas por algún criterio, al igual que las líneas productivas, identificadas muy claramente ya que el proceso lo exige así. La señalización es evidente y se puede diferenciar lugares de riesgo y de mayor cuidado.
- *Criticidad de los equipos.* Existen criterios para determinar la criticidad del equipo según su influencia en la producción, no se cuantifica la incidencia de una falla sobre otro equipo, por experiencia del personal de mantenimiento identifican claramente los equipos que están bajo observación. Se puede ver un control de los equipos de mayor influencia y criticidad en varios aspectos tales como el impacto al medio ambiente, la salud y la producción.
- *Dimensionamiento de los tiempos de mantenimiento.* Se tiene definido los tiempos de mantenimiento ante una falla imprevista, el mantenimiento preventivo que se realiza es básico y los tiempos están cuantificados aunque la definición de las intervenciones se las desarrolla a criterio del personal más experimentado.

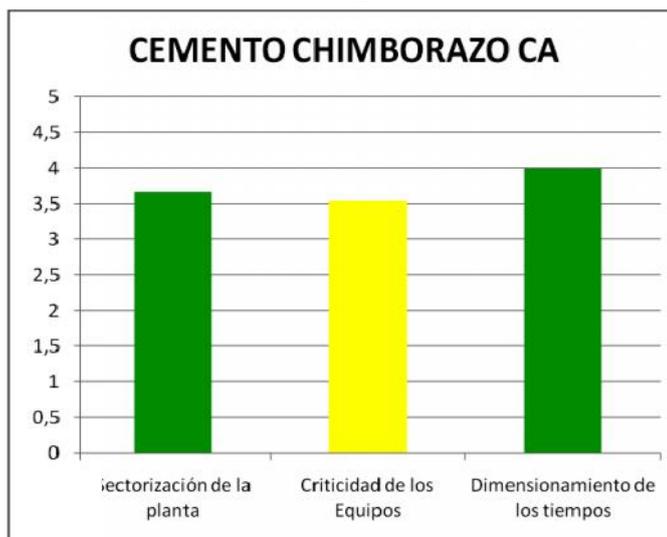
Cuando el volumen de trabajo del personal interno aumenta, rápidamente se solicita servicio de contratistas.

**Tabla 20.** Criticidad de rutas de inspección en Cemento Chimborazo.

<i>B) Criticidad de rutas de inspección</i>			
<b>Preguntas</b>	<b>Aspectos considerados</b>	<b>Valor</b>	<b>Calificación</b>
B1,B2,B5,B6	Sectorización de la planta	4	Aspecto bien implementado
B3,B4,B7,B8,B9	Criticidad de los Equipos	3,53	Aspecto regular
B10,B11	Dimensionamiento de los tiempos	4	Aspecto bien implementado
<b>Promedio: aspecto bien implementado</b>		3,84	

Fuente. El autor

**Figura 55.** Criticidad de rutas de inspección en Cemento Chimborazo.



Fuente. El autor

- *Información sobre los equipos.* La información registrada de los equipos se almacena en estantes definidos y los documentos se guardan según especie, todas las maquinarias están señaladas. Al modificar algún equipo se registran los cambios, en el caso de la utilización del software JD Edwards EnterpriseOne, se le está alimentando con la información de los equipos, en el aspecto económico y técnico.
- *Información sobre el mantenimiento.* La definición de los procedimientos estándares de mantenimiento abarca algunos equipos de intervención crítica. Los registros de reparaciones, catálogos y planos están almacenados en libros y estantes.
- *Información sobre manejo de recursos.* La designación de recursos, horas hombre y herramientas, son administrados por la experiencia del personal. Se crean procedimientos con tiempo estimado de ejecución.
- *Información sobre indicadores.* El problema más grande del personal es la utilización de los indicadores de gestión de mantenimiento, ya que no toman como referencia valores los cuales son de útil apoyo para la gestión del mantenimiento.

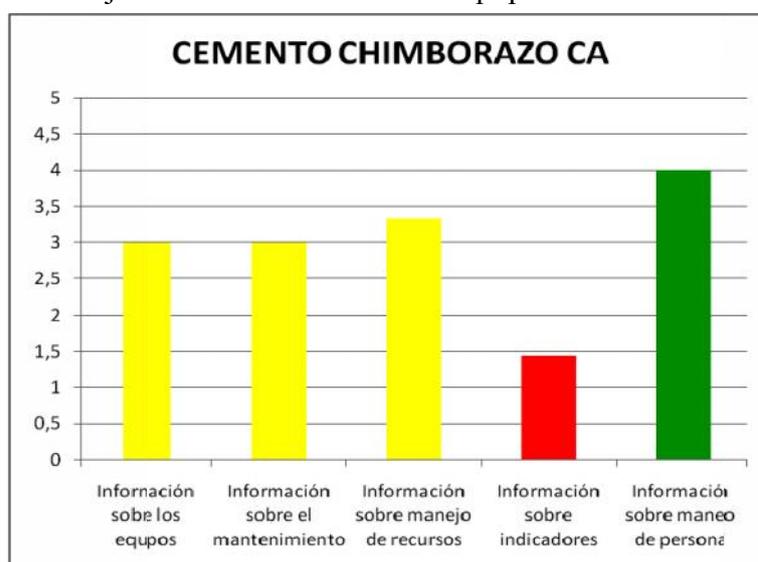
- *Información sobre manejo de personal.* Las personas que operan los equipos, adquieren la experiencia que se traspasa de operarios más antiguos. Existe un programa de capacitación para operarios constante.

**Tabla 21.** Manejo de la información sobre equipos en Cemento Chimborazo

C) Manejo de la información sobre equipos			
Preguntas	Aspectos considerados	Valor	Calificación
C1,C2,C4	Información sobre los equipos	3	Aspecto regular
C3,C5,C6	Información sobre el mantenimiento	3	Aspecto regular
C7,C8,C9,C12	Información sobre manejo de recursos	3,33	Aspecto regular
C10,C11,C15	Información sobre indicadores	1,44	Aspecto con deficiencia
C13,C14	Información sobre manejo de personal	4	Aspecto bien implementado
<b>Promedio:</b> aspecto regular		2,95	

Fuente. El autor

**Figura 56.** Manejo de la información sobre equipos en Cemento Chimborazo.



Fuente. El autor

- *Integración de gente de operaciones.* Se revisan pocos equipos cada vez que comienza un turno. Algunos de los operadores de los equipos realizan tareas simples de mantenimiento, son los que avisan las anomalías.
- *Programación de las tareas de mantenimiento.* No existe una herramienta adecuada para fijar tareas de frecuencias fijas y programas de mantenimiento,

debido a la falta de un sistema de gestión de mantenimiento, pero manualmente se establece un programa semanal para las actividades con los equipos de mayor influencia en la producción.

- *Antecedentes para programar el mantenimiento.* Se toma en consideración los registros de intervenciones anteriores, estado técnico de los equipos, tareas correctivas no programadas y las experiencias del personal que ayudan a la programación de tareas correctivas.
- *Generación de índices de control y de retroalimentación.* Se considera la existencia de herramientas, para una retroalimentación de la información registrada en libros de mantenimiento, que se almacenan en estanterías pero de cierto número de maquinarias.

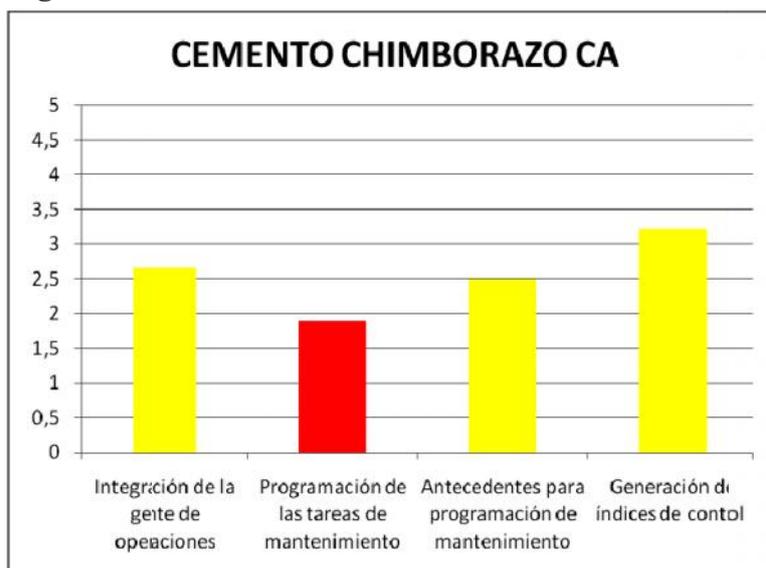
El control de las actividades se lleva a cargo por los supervisores de cada grupo, los cuales elaboran informes de ejecución en la que se toma referencia los costos generados.

**Tabla 22.** Mantenimiento actual en Cemento Chimborazo.

D) <i>Mantenimiento actual</i>			
Preguntas	Aspectos considerados	Valor	Calificación
D1,D2	Integración de la gente de operaciones	2,67	Aspecto regular
D3,D4,D10	Programación de las tareas de mantenimiento	1,89	Aspecto con deficiencia
D5,D6,D7,D9	Antecedentes para programación de mantenimiento	2,5	Aspecto regular
D8,D11,D12,D13, D14,D15	Generación de índices de control	3,22	Aspecto regular
<b>Promedio:</b> aspecto regular		2,57	

Fuente. El autor

**Figura 57.** Mantenimiento actual en Cemento Chimborazo.

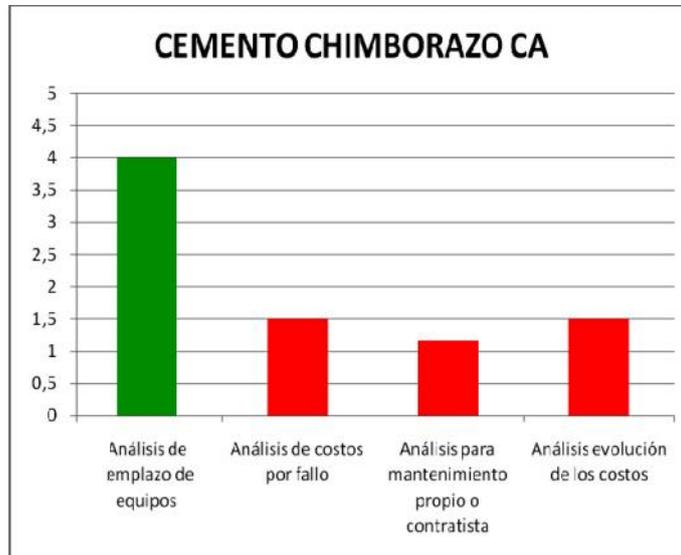


Fuente. El autor

- *Análisis de reemplazos de equipos.* Los equipos actualmente se reemplazan una vez terminada su vida útil, cuando ya no aceptan más reparaciones se realizan el cálculo de depreciación, y se evalúa de manera adecuada el costo de ciclo de vida por parte del departamento financiero que lleva un control económico de los activos.
- *Análisis de costos por fallo.* No existe un historial estadístico donde se pueda estudiar las tendencias de fallas de los equipos, para reemplazar el componente antes de que se produzca la falla. Pero se manejan inspecciones por parte de operarios para identificar anomalías.
- *Análisis para mantenimiento propio o contratista.* Actualmente se definen las intervenciones de gran magnitud y complejidad, a empresas contratistas. La conveniencia y los concursos se los evalúa económicamente por el departamento financiero, el software JD Edwards EnterpriseOne es de gran ayuda. Se programa con normalidad, las actividades dentro de la planta con la posibilidad de desarrollarlas con recursos propios.
- *Análisis de evaluación de costos.* Se encuentra en un período inicial de implementación del software JD Edwards EnterpriseOne el cual es una herramienta adecuada para analizar costos por unidades productivas y por equipos. Esta herramienta facilita la tarea de realizar un presupuesto para mantenimiento de los equipos de la planta con mejores resultados. Actualmente el

departamento financiero con la sección de adquisiciones, se encarga de la evaluación de lo adquirido y presupuestado para mantenimiento.

**Figura 58.** Manejo de costos de mantenimiento en Cemento Chimborazo.



Fuente. El autor

**Tabla 23.** Manejo de costos de mantenimiento en Cemento Chimborazo.

E) Antecedentes de costos de mantenimiento			
Preguntas	Aspectos considerados	Valor	Calificación
E1,E2,E3,E7	Análisis de remplazo de equipos	4	Aspecto bien implementado
E4,E5,E6,E8	Análisis de costos por fallo	1,5	Aspecto con deficiencia
E9,E14,E15	Análisis para mantenimiento propio o contratista	1,17	Aspecto con deficiencia
E10,E11,E12,E13	Análisis de la evolución de los costos	1,5	Aspecto con deficiencia
<b>Promedio:</b> aspecto con deficiencia		2,04	

Fuente. El autor

- *Capacidad de programación de actividades.* La capacidad para realizar programación de actividades es limitada por no contar con tareas específicas para optimizar las actividades de los mantenedores.

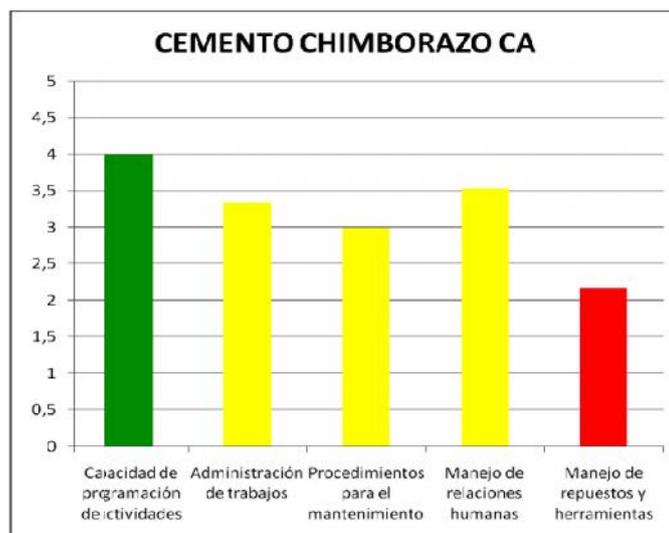
- *Administración de trabajos.* Existen un registro de las actividades realizadas por personal de mantenimiento en la documentación de cada equipo, en la que se guardan los documentos de las órdenes realizadas.
- *Procedimientos para el mantenimiento.* Hay tareas y procedimientos descritos formalmente para actividades correctivas y preventivas de los equipos más representativos y de gran dificultad en la intervención.
- *Manejos de repuestos y herramientas.* Los repuestos de los equipos de la planta son almacenados en grandes cantidades en bodegas, donde existen inventarios, control de stock y proveedores. Administrado por la bodega de mantenimiento.
- *Manejo del talento humano.* La colaboración entre las diferentes áreas de mantenimiento con producción es muy buena, incluso existe la participación del personal operativo en actividades de inspección por motivos de mantenimiento.

**Tabla 24.** Efectividad del mantenimiento actual en Cemento Chimborazo.

F) Efectividad del mantenimiento actual			
Preguntas	Aspectos considerados	Valor	Calificación
F1,F2,F8,F9	Capacidad de programación de actividades	4	Aspecto bien implementado
F3,F4,F5	Administración de trabajos	3,8	Aspecto regular
F6,F7	Procedimientos para el mantenimiento	3,5	Aspecto regular
F10,F11,F12,F13,F14	Manejo del talento humano	3,5	Aspecto regular
F15,F16	Manejo de repuestos y herramientas	2,17	Aspecto con deficiencia
<b>Promedio:</b> aspecto regular		3,39	

Fuente. El autor

**Figura 59.** Efectividad del mantenimiento actual en Cemento Chimborazo.



Fuente. El autor

### 3.3 Inconformidades encontradas.

Considerando el nivel de implementación de los aspectos estudiados en el análisis y diagnóstico de mantenimiento expresados en la tabla 25 se tiene:

**Tabla 25.** Resultados generales de la situación actual del mantenimiento

<i>NIVEL DE IMPLEMENTACIÓN DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO</i>					
Aspectos considerados	Holcim Ecuador	Lafarge Cementos	Industrias Guapán	Cemento Chimborazo	Industria Cementera
Criticidad de los equipos	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
Manejo de la información	Alto	Medio	Alto	Medio	Medio
Mantenimiento actual	Medio	Alto	Medio	Medio	Medio
Manejo de costos	Alto	Alto	Medio	Bajo	Medio
Efectividad del mantenimiento	Alto	Alto	Alto	Medio	Alto

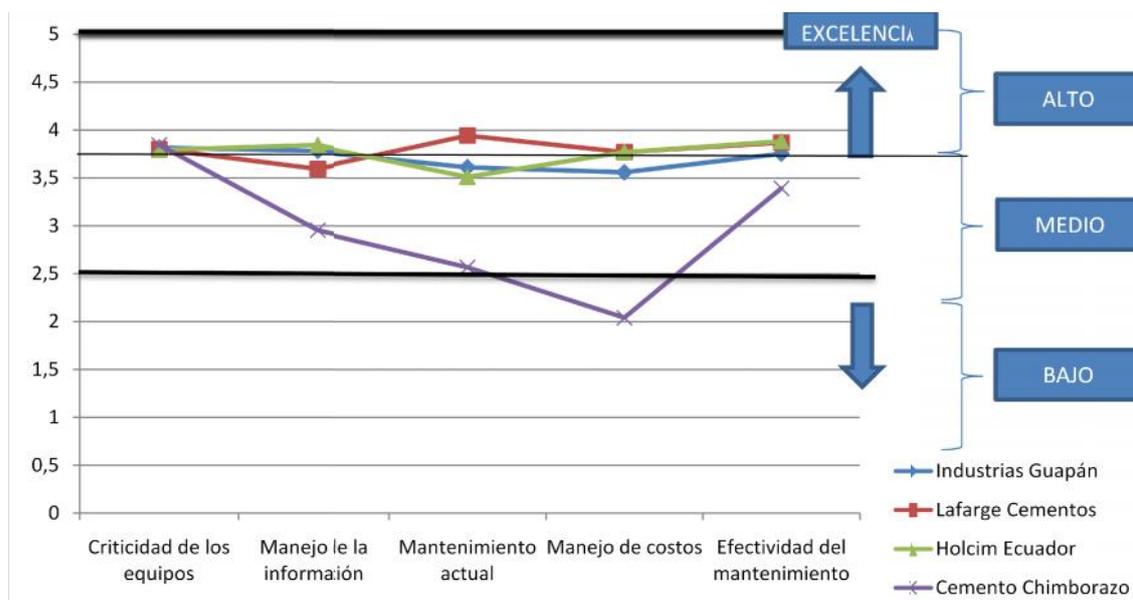
Fuente. El autor

- *Alto:* Los aspectos de mantenimiento que conservan buenas expectativas y acciones.
- *Medio:* Se toma referencia la importancia de algunas características en las que hay que mejorar, pero que se puede encontrar un desenvolvimiento aceptable del personal de mantenimiento.
- *Bajo:* Los aspectos de mantenimiento con inconformidades que perjudican el desenvolvimiento del personal, de lo que se evidencia malas acciones y expectativas.

Se encontró las siguientes inconformidades de forma general:

- Se puede observar la falta de documentación y los registros de funcionamiento de algunos equipos de menos importancia, pero que forman parte del sistema productivo en las cementeras.
- La mayoría de los departamentos no controlan la gestión de mantenimiento de acuerdo con los indicadores de gestión, No se realiza un análisis de fallas, sus causas y efectos con métodos de ingeniería. Los trabajos pendientes han aumentado, a medida que los trabajos de emergencia han complicado lo programado, por esta razón el mantenimiento actual se encuentra implementado de una manera regular (ver en figura 60).
- En algunos casos el análisis de costos se designa a los departamentos de finanzas, notando así que no se realiza un estudio de lo generado por las intervenciones preventivas y correctivas, por parte propia del departamento de mantenimiento, lo cual ha sido un impedimento para establecer el equilibrio en los costos generados por mantenimiento.
- Se encontró acumulaciones de trabajos pendientes que no se los puede controlar, e incluso ha dado muchos desfases en la consideración de los trabajos programados. Además no se ha podido controlar el avance de las órdenes de trabajo, notando así una regularidad en casos específicos de la efectividad del mantenimiento.

**Figura 60.** Representación de resultados de la situación actual de la gestión del mantenimiento.



Fuente. El autor

### 3.4 Gestión del mantenimiento asistido por computador en las cementeras del Ecuador.

Es indistinto determinar las aplicaciones de mantenimiento informatizados en cada planta, ya que en las empresas cementeras se han implementado distintos software de diferentes distribuidores y características. Existen tres tipos de software que al momento se están aplicando en el proceso de mantenimiento de donde:

Los departamentos de mantenimiento de Holcim Ecuador han optado por aplicar un ERP de grandes alcances, pero cuando todas las áreas que conforman la empresa sean participes de su gestión. Igual acontece con Cemento Chimborazo que ha implementado JD Edwards EnterpriseOne, el cual es un software de planificación de recursos empresariales de similares características que el SAP PM usado por Holcim Ecuador desde más de 5 años, y para su aplicación tuvo que personalizar el proceso de mantenimiento y ajustarse al sistema.

Industrias Guapán ha implementado una sistematización del mantenimiento mediante el SisMAC de forma independiente de las demás áreas de la empresa. SisMAC es un CMMS con especialización en el ámbito de mantenimiento en cuanto a las funciones

básicas y algunas herramientas. Los resultados de la gestión con SisMAC son compartidos con software ERP y utilitarios de Windows tales como hojas de cálculo y de realización de proyectos (Excel, Access y otros). El fin de manejar la información en conjunto con otras herramientas es realizar el análisis económico y el control de mantenimiento.

Lafarge Cementos utiliza Maximo Asset Management, el cual se considera un EAM, un sistema que ha evolucionado del CMMS, orientado a administrar mejor los activos físicos y ampliando su influencia a otras áreas. Maximo, considera un mejor seguimiento del ciclo de vida de los activos a través del tiempo. Evita personalizaciones que requieren los ERP para desempeñar las actividades de mantenimiento.

**3.4.1** *Evaluación de las funciones de los software aplicados actualmente en las cementeras.* Se puede evidenciar la evaluación comparativa de funciones en la tabla 26 y la de herramientas en la tabla 27.

**Tabla 26.** Evaluación de las funciones en los software de mantenimiento de las cementeras del país

<b>Funciones de los softwares</b>	<b>IBM Maximo</b>	<b>JD Edwards EnterpriseOne</b>	<b>SisMAC</b>	<b>SAP</b>
<i>Funciones propias al personal de intervención</i>				
Codificación de equipos	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
Documentación técnica	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
Historial	MEDIO	MEDIO	ALTO	MEDIO
Repuestos	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
<i>Funciones propias a planificación</i>				
Seguimiento de actividades	ALTO	MEDIO	ALTO	MEDIO
Preparación de intervenciones	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
Planificación de intervenciones	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
<i>Funciones propias a la gestión</i>				
Gestión de ordenes de trabajo	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
Gestión de costos	ALTO	ALTO	MEDIO	ALTO
Gestión de bodegas	ALTO	ALTO	MEDIO	ALTO
Análisis de gastos y presupuesto	ALTO	ALTO	MEDIO	ALTO
Seguimiento de contratistas	ALTO	MEDIO	BAJO	ALTO

Fuente. El autor

Para determinar la situación actual de la gestión del mantenimiento asistido por computador en las cementeras del país, se evaluaron las características y factores, pero particularmente en el ámbito de la aplicación de funciones y herramientas que presentan cada uno de los software según los anexos H e I.

El nivel alto se refiere a la buena aplicación del software en cada uno de los aspectos.

En el nivel medio se puede encontrar algunas irregularidades que son un punto de referencia para diferenciar con otras aplicaciones.

El nivel bajo determina que el sistema no aplica algunas funciones o herramientas de importancia aunque se pueda manejar la información con herramientas independientes.

**3.4.2** *Evaluación de las herramientas de los software aplicados actualmente en las cementeras.* En la tabla 27 se puede observar la ausencia de herramientas de ingeniería de confiabilidad y la toma de decisiones, las cuales se orientan a la optimización de las políticas de mantenimiento según las necesidades de mejoramiento en el mantenimiento actual en las cementeras ecuatorianas. En la mayoría de las cementeras, el personal encargado de la programación de mantenimiento, utiliza el historial de fallas como referencia estadística y de consideración, pero no se realiza un estudio minucioso de las causas y efectos de las mismas.

Es de importancia considerar la deficiencia en la realización de las actividades de mantenimiento por falla y avería suscitada en cada equipo, y más aún cuando no se considera optimizar la gestión de trabajos y mejorar la planificación utilizando el historial.

El diagrama de Pareto es una herramienta de toma de decisiones que trata la información del historial, principalmente clasifica y evalúa las intervenciones de mantenimiento por cada equipo y subsistemas.

Es indistinta la aplicación de indicadores de mantenimiento por parte de cada software estudiado, pero los indicadores de clase mundial principalmente la disponibilidad, MTBF, MTTR y la efectividad operacional no pueden faltar, ya que existe la necesidad de establecer un control del mantenimiento. En los ERP no se considera la aplicación de herramientas integradas dentro del software, que faciliten el cálculo de manera directa, sin tener que perder cierto tiempo al momento de tratar la información de las intervenciones realizadas.

Los indicadores que representan la efectividad de la gestión del mantenimiento tanto en aspectos financieros como funcionales son aplicados con frecuencia en los ERP y los EAM.

El desenvolvimiento del personal propio comparándolo con el contratado no se aplica en el SisMAC, pero algunos indicadores son aplicados tomando en cuenta las normas COVENIN 3049-93 utilizadas con frecuencia en Latinoamérica, y los indicadores elaborados de gestión de mantenimiento que son de origen europeo.

Para el análisis de fallas, tanto en el estudio de los modos de falla del historial, las demandas de intervenciones y la determinación de las causas y efectos de fallas de cada reporte de intervención, no son aplicadas directamente en los software analizados, como se puede visualizar en la evaluación de las herramientas de la tabla 27.

**Tabla 27.** Evaluación de las herramientas en los software de mantenimiento de las cementeras del país

Herramientas de los softwares	IBM Maximo	JD Edwards EnterpriseOne	SisMAC	SAP
<i>Herramientas de cálculo y representación de indicadores de gestión</i>				
Indicadores de clase mundial	MEDIO	MEDIO	ALTO	MEDIO
Índices de evaluación para el control de trabajos.	ALTO	ALTO	MEDIO	ALTO
Índices de actuación del factor apoyo logístico	ALTO	MEDIO	MEDIO	ALTO
Índices de evaluación del uso de contratistas	ALTO	ALTO	BAJO	ALTO
Índices de evaluación del factor costo	ALTO	ALTO	MEDIO	ALTO
Índices de evaluación de la organización	ALTO	ALTO	MEDIO	ALTO
<i>Herramientas para la consolidación de datos y toma de decisiones.</i>				
Análisis de modo y efecto de fallo (AMEF)	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
Árbol de fallas	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
Diagrama de Pareto	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
<i>Herramienta para gestión económica</i>				
Costo de ciclo de vida	SI aplica	SI aplica	No aplica	SI aplica

Fuente. El autor

**3.4.3 Factores claves de seleccionamiento de software para la gestión del mantenimiento.** Los factores claves son un punto de referencia para considerar lo cuán rentable y beneficioso es para la empresa, es por eso que cada distribuidor de los servicios de informatización del mantenimiento que han cubierto las necesidades de la industria cementera, tienen en sus productos un desarrollo constante, de acuerdo a las necesidades de la industria en general.

Según la evaluación de la tabla 28 se puede considerar una actualización y estandarización de los servicios básicos, que como empresas distribuidoras de software deben garantizar al cliente.

**Tabla 28.** Evaluación de los factores claves en los software de mantenimiento de las cementeras del país.

<b>Factores claves de los software</b>	<b>IBM Maximo</b>	<b>JD Edwards EnterpriseOne</b>	<b>SisMAC</b>	<b>SAP</b>
Servicios	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE
Precio	MODERADO	ALTO	BAJO	ALTO
Investigación y desarrollo	ALTO	ALTO	MEDIO	ALTO
Diseño centrado en el usuario	SI	SI	SI	SI
Personalización del programa	ALTO	MEDIO	MEDIO	ALTO
Adaptabilidad	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA
Integración	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE
Facilidad de Uso	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE

Fuente. El autor

Muchas de las empresas distribuidoras de los ERP, EAM y CMMS, han considerando importante las funciones que desempeñan los software de gestión de mantenimiento en conjunto con los factores claves y herramientas, formando parte de un entorno competitivo.

Las aplicaciones informáticas internacionales tales como IBM Maximo, JD Edwards EnterpriseOne y SAP, tienen un equipo amplio de desarrolladores los cuales actualizan de forma constante sus aplicaciones en función a las nuevas necesidades, que día a día aparecen en todo tipo de industria a nivel mundial.

Pero C&V Ingeniería Cía. Ltda. empresa ecuatoriana que distribuye SisMAC, dispone de un equipo reducido, en función de las anteriores, en el desarrollo de nuevas

herramientas e investigaciones. Pero cabe recalcar su crecimiento a lo largo del país y el mercado chileno.

Existe una estabilidad de los factores claves de cada software estudiado, que por consiguiente no necesita de una definición personalizada para la industria cementera del país. Sin embargo algunas funciones y herramientas difieren entre los software, y se debe al tipo de especialización de cada aplicación.

**3.4.4 Especialización de las aplicaciones.** Para considerar la especialización en mantenimiento de las aplicaciones informatizadas, se toma en cuenta la orientación del desarrollo de cada empresa, lo cual se ha demostrado al momento de observar software de tipo ERP que tienen una especialización administrativa, las cuales son integradas en todas las áreas, logrando así un control global de la organización. Lo mencionado se obtiene involucrando a todas las partes y es lógico saber que la inversión para alcanzar esos resultados es alta, pero vale la pena al momento de saber que los resultados de hacerlo garantizan competitividad.

Holcim Ecuador lleva sus plantas de manera integrada por el ERP – SAP, el cual ha sido de gran ayuda para establecerse como la empresa cementera referente en el Ecuador, sin embargo la confiabilidad del personal que establece la programación de actividades es regular, ya que es de suma importancia considerar la planificación de acuerdo al estado real de los equipo en función de reportes de intervenciones anteriores, y no solamente de frecuencia e indicadores de gestión.

Cemento Chimborazo esta incrementando su nivel productivo y sería de gran ayuda la implementación global el ERP, JD Edwards EnterpriseOne que es una alternativa muy confiable, pero requiere personalizar el proceso e implementar su gestión de forma general en la planta, para obtener resultados aceptables.

Lafarge Cementos tiene cierta ventaja de las demás empresas al momento de compararlas con el mantenimiento actual, esto se debe a la implementación de un EAM – Maximo Asset Management que tiene más especializado su administración de recursos en el área de mantenimiento, el cual ha sido integrado en toda la planta, obteniendo mejores resultados. Maximo es una aplicación que se diferencia ligeramente de los ERP mencionados anteriormente, de forma particular en el seguimiento del ciclo de vida de los activos. El personal de programación de Lafarge Cementos ha optado por revisar los reportes de fallas y considerarlas de manera estadística por equipo, para mejorar la planificación de actividades.

Si bien es cierto que Industrias Guapán se maneja con un software totalmente especializado para actividades de mantenimiento, es importante considerar la

integración con los demás departamentos. La obtención de resultados positivos en la gestión del mantenimiento se debe al control global de todos los recursos, y al excluir uno de ellos, se tiende a reducir la confiabilidad en la función de mantenimiento. SisMAC tiene cierta desventaja al momento de compararlo con los ERP y los EAM, pero este CMMS fue diseñado exclusivamente para ajustarse al proceso de mantenimiento establecido en la planta Guapán. SisMAC comparte la información generada con otros software locales especializados en diferentes áreas, como la gestión de bodegas, control de costos y gestión de contrataciones, los cuales son un respaldo para la gestión del mantenimiento.

## CAPÍTULO IV

### **4 DEFINICIÓN DE LAS FUNCIONES Y HERRAMIENTAS PARA UN SOFTWARE DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO AJUSTADAS A LOS REQUERIMIENTOS DE LA INDUSTRIA CEMENTERA ECUATORIANA.**

De la información analizada en el capítulo anterior, se puede definir de forma directa las funciones y herramientas para el software de gestión de mantenimiento, que mejor se ajusten al desenvolvimiento de los departamentos de mantenimiento de cada una de las cementeras del país. Pero cabe definir los factores claves del sistema que garantice un correcto seleccionamiento y la aplicación de mejores prestaciones.

#### **4.1 Definición de los factores claves para el seleccionamiento**

Se consideran factores claves porque son aspectos básicos que debe disponer un sistema de manera general, con el fin de tomar en cuenta para la adquisición del servicio. Pero para un correcto seleccionamiento se toma en cuenta también los aspectos técnicos de funcionamiento.

**4.1.1 Servicio posventa.** Es necesario establecer que el soporte técnico y la capacitación no deben faltar, de lo que el distribuidor del software debe garantizar para que se integre a la gestión del mantenimiento de cada planta cementera en el Ecuador.

El asesoramiento de consultores es un punto de partida para llegar a la propuesta comercial, sabiendo así que en países desarrollados a proliferado el negocio de las consultorías y certificaciones externas del servicio como son; Maint Cia Ltda, Penitus Solutions Cia Ltda, IT Consol SA, Structured Intelligence Ecuador, entre otras. Lo cual ha sido un factor negativo para el incremento del costo por licencia e implementación, principalmente de los ERP y los EAM.

Por lo tanto se sugiere un servicio de consultoría propia por parte del mismo distribuidor del producto. El servicio en línea genera confiabilidad y soporte remoto lo cual es de mucha utilidad, al igual que contar con una empresa sólida y que se mantenga en comunicación con los usuarios.

**4.1.2 Precio.** Debe establecerse un precio local sin recargas de; importación, plataforma propietaria, consultorías y certificaciones externas. El software debe corresponder a un mejor costo/ beneficio.

**4.1.3 Investigación y desarrollo.** Se considera la aplicación de los más representativos y útiles avances industriales que se aplican actualmente en cada planta cementera, como por ejemplo; la integración con dispositivos de recolección de datos de frecuencia radial inalámbrica, aplicaciones en red, firmas electrónicas de aprobación de solicitud de trabajos, monitoreo de condiciones y actualizaciones en las herramientas de cálculo de indicadores y análisis del costo del ciclo de vida.

**4.1.4 Diseño centrado en el usuario.** Se toma en cuenta la participación del usuario, considerando su opinión para definir el diseño, que por lo visto todos los usuarios y planificadores del mantenimiento en las cementeras, recomiendan una aplicación intuitiva para la programación de actividades, siendo explicativo al momento de considerar algunos indicadores de gestión o reportes generados, que se pueda filtrar información que no se necesite, y sobre todo la apariencia debe ser familiar y sencilla.

**4.1.5 Personalización de programa.** Se considera la adaptación del software al proceso de mantenimiento definido en cada planta cementera, tomando en cuenta el servicio en necesidades individuales tanto en la codificación que maneja cada empresa para con sus recursos, como la distribución de responsabilidades del talento humano de mantenimiento.

**4.1.6 Adaptabilidad.** Flexible para adaptarse a las necesidades de cambios en el manejo de la información, principalmente en las Características de equipos, personal, materiales y repuestos. Se pueda también cambiar la estructura organizacional y las responsabilidades, con facilidad de ajuste a las nuevas adecuaciones en la planta.

**4.1.7 Integración.** El software recomendado para la industria cementera también debe poder integrarse a software de terceros como hojas de cálculos, herramientas de confiabilidad, programas de diseño computarizado CAD, sistemas de información geográfica, dispositivos de lectura de código de barras, software de mantenimiento predictivo y de planificación de recursos empresariales.

**4.1.8 Facilidad de Uso.** De preferencia el idioma del interfaz con el usuario debe ser en español. La aplicación debe permitir filtrar la información para que sea ágil y oportuna. Debe facilitar al usuario la clasificación de las funciones más utilizadas para poder maniobrarlo más rápidamente. Los atajos con teclados deben ser pocos y familiares para el personal de programación.

## 4.2 Arquitectura recomendada del software

Se recomienda la aplicación de una arquitectura web en tres niveles, donde la carga se divide en tres partes (o capas). Una capa para la presentación (interfaz de usuario), otra para el cálculo (donde se establecen todas las reglas que deben cumplirse) y otra para el almacenamiento (donde residen los datos y es la encargada de acceder a los mismos). De manera que el desarrollo se puede llevar a cabo en varios niveles, y en caso de que sobrevenga algún cambio, sólo se ataca al nivel requerido sin tener que revisar entre código mezclado.

**4.2.1** *Sistema operativo.* La mayoría de empresas cementeras al momento cuentan con Windows XP, 2000 y 7 como también se aplica el sistema operativo Linux.

**4.2.2** *Base de datos.* La base de datos relacionales es la más aconsejada para la aplicación del software, permitiendo el enlace con los gestores de base de datos más utilizados por las cementeras, los cuales son Oracle, SQL Server, My SQL, Informix, DB2 y cualquiera otra que permita conectividad ODBC.

**4.2.3** *Administración y seguridad.* Debe permitir configurar los datos básicos de acceso a los usuarios y el tipo de base de datos, facilitando la administración de los usuarios de forma eficaz en el control personalizado de perfiles, ubicación técnica, familia de equipos, entre otros.

El software recomendado debe también monitorear, correlacionar y reaccionar ante incidentes de seguridad de la tecnología de la información (IT) en la organización. Debe garantizar las facilidades de configurar distintos niveles de seguridad y acceso para cada usuario. Así mismo, permitir realizar copias de seguridad automáticas.

**4.2.4** *Instalación.* Se puede configurar los datos básicos de los usuarios de forma rápida y segura, ya que cada programador tiene asignada su clave de acceso al sistema.

Se puede separar las áreas de acceso en el sistema sean por secciones o departamentos de mantenimiento. Cualquier persona que consuma el servicio del servidor de la organización puede notificar una demanda de intervención.

Se puede monitorear, correlacionar y reaccionar ante incidentes de seguridad de la tecnología de la información (IT) en la organización. Permite realizar copias de los datos generados automáticamente en otros servidores.

**4.2.5 Escalabilidad.** Debe permitir un número ilimitado de usuarios con acceso simultáneo, así como incrementar las soluciones a medida que crece la empresa, ya que puede implementar nuevas aplicaciones (tanto módulos ya desarrollados como nuevas funcionalidades) mientras cambian las necesidades de cada planta.

### **4.3 Definición de las funciones para un software de gestión del mantenimiento.**

Las funciones para un software de gestión de mantenimiento recomendadas para la industria cementera ecuatoriana toman su forma, al momento de comparar la información definida en el análisis y diagnóstico de la gestión de mantenimiento de forma manual, con las funciones evaluadas comparativamente entre los software de tipo ERP, EAM y CMMS, implementados actualmente en las plantas cementeras.

Las principales características de las funciones que contribuirán a disminuir las inconformidades encontradas en la situación actual de la Gestión del mantenimiento de forma manual e informatizada, están expresada en la tabla 29.

**Tabla 29.** Características de las funciones de GMAO para reducir inconformidades encontradas en la situación actual de la gestión del mantenimiento en las cementeras.

<b>Inconformidades</b>	<b>Características de la Función</b>
Falta de documentación de equipos no críticos o importantes.	Facilidad de ingreso de la documentación técnica al sistema.
No se analiza fallas en los equipos.	Metodología de diagnóstico de falla más eficiente.
Aumento de trabajos de emergencia.	Sincronización y optimización de las intervenciones por día, semana o mes.
No se analiza los costos de mantenimiento (preventivo y correctivo)	Se clasifican las intervenciones con el fin de separar los costos generados.
Aumento de trabajos pendientes	Estrategias de mantenimiento
Falta de seguimiento a las actividades.	Generación de informes y reportes de intervención.

Fuente. El autor

Por lo que, se define las siguientes características de las funciones como aplicación informática de tipo CMMS, de utilidad para los departamentos de mantenimiento en cada planta cementera, en donde tenemos:

Las funciones propias de la intervención, orientadas a la recolección de todos los datos necesarios que pueden hacer referencia a los equipos a mantener. Entre las características de las funciones propias de la intervención tenemos:

- *Recolección de datos:* Ingreso de datos referentes al equipo y su incidencia en el proceso productivo así como su ubicación, área, proceso, tipo, etc.
- *Documentación técnica:* Ingreso de datos que ofrecen los constructores de los equipos, así como los repuestos y piezas que se necesita para el mantenimiento. Los planes de mantenimiento previstos por el fabricante, entre otros. Se debe facilitar de ingreso de la documentación técnica al sistema
- *Historial:* Ingreso de datos originados en las necesidades de intervención, tanto para actividades de mantenimiento correctivo, predictivo e inspecciones rutinarias. Permitiendo la elaboración de la solicitud de trabajo, Se completa el historial con la información de las intervenciones desarrolladas en la ejecución de trabajo.
- *Proveedores:* Ingreso de la información necesaria referente a los proveedores de los repuestos y piezas de los equipos, ofertas económicas, características y tiempo de entrega por parte de distribuidores locales e internacionales.
- *Repuestos:* Ingreso y descripción de las principales características de los repuestos y piezas que el distribuidor oferta tales como; la marca, fabricante, dimensiones, utilización, recomendaciones de mantenimiento, entre otros.
- *Codificación de equipos;* Relaciona la información disponible perteneciente a cada equipo, sea de lo ingresado como documentación técnica, historial, proveedores y repuestos. Por lo general la codificación de equipos se la representa por códigos alfanuméricos, detallando a cada equipo de forma resumida la información más relevante

Las características de las funciones propias a la planificación se detallan a continuación:

- *Política de Mantenimiento:* define las estrategias de mantenimiento, dándole un seguimiento y control en el tiempo, en donde se permite determinar la frecuencia de cada intervención para programarla. Se utiliza indicadores de mantenimiento para optimizar la planificación de actividades en cada equipo. Se debe visualizar los tipos de mantenimiento, y clasificarlos para priorizar su planificación y posteriormente su ejecución. Para definir las estrategias debe tomarse en cuenta el registro de intervenciones, como también se permite introducir al sistema una nueva actividad con su respectivo tipo, duración, frecuencia, procedimiento de mantenimiento, seguridad, calificación y herramientas necesarias para el trabajo.
- *Plan de mantenimiento preventivo:* Se define el plan de actividades, de manera que se pueda visualizar su desarrollo en el año. Debe facilitarse la coordinación con las paradas de producción de equipos y la reprogramación de intervenciones, permitiendo así encontrar un equilibrio en las actividades diarias, semanales o mensuales.
- *Solicitud de trabajo,* debe considerarse las necesidades de cualquier personal de la organización con la competencia en el acceso al sistema, generando el pedido de acuerdo a la falla o modo de fallos encontrados en la línea de producción. Para la realización del mantenimiento correctivo, predictivo y las inspecciones rutinarias, se requiere de una solicitud de trabajo para poder planificarlas y validar su ejecución mediante la creación y preparación de la orden de trabajo. El sistema debe permitir el almacenamiento de las solicitudes no aprobadas. Las solicitudes aprobadas deben entrar a una logística en donde se analiza la falla o modo de falla establecida en la solicitud de trabajo dando el paso a la aprobación para su planificación de recursos. Se debe definir las necesidades de adquirir recursos tales como repuestos, herramientas, implementos y talento humano para la planificación.
- *Compras;* debe garantizarse la actualización de las ofertas comerciales que proponen los proveedores para establecer las órdenes de compra de manera confiable. La información de los proveedores puede clasificarse por cada equipo, haciendo énfasis en un determinado recurso material, pudiendo así determinar de mejor manera el presupuesto necesario para mantenimiento de acuerdo a la planificación de actividades. Esta función debe vincularse también a la gestión de costos y bodegas.

- *Orden de trabajo;* este documento asigna a cada actividad responsables, procedimientos, repuestos, herramientas por cada equipo, formando así un documento necesario para la ejecución del mantenimiento, y en caso de ser suspendida debe almacenarse en reservas, pudiendo convertirse nuevamente como orden de trabajo al momento de tomarla en cuenta. La ejecución de cualquier intervención de mantenimiento debe ser establecida por las órdenes de trabajo, de donde el software debe permitir la facilidad de emisión de este documento. Las órdenes de trabajo también cuentan con las consignas de seguridad. En la orden de trabajo el personal de intervención deberá completar la información referente a las novedades que se ha encontrado en campo los cuales deberán ser notificados, para el seguimiento y la determinación de indicadores que son un punto de referencia para las especificaciones de calidad en el mantenimiento.
- *Emergencias:* se debe garantizar el ingreso al proceso de planificación de las actividades de emergencia y priorizarlas, entregando órdenes de trabajo estándar y las órdenes de bodega que agilicen las intervenciones.
- *Planificación:* para la planificación se define los recursos para cada intervención, tomando en cuenta la disponibilidad de las instalaciones por producción, nivel de criticidad, cargas de trabajo posibles y la necesidad de contrataciones.
- *Ejecución:* Emite la orden de bodega y la tarjeta de presencia. El software debe garantizar la entrega ágil de estos documentos, como también restringir alteraciones en información de órdenes planificadas que pueda alterar el control de los recursos y el seguimiento de intervenciones
- *Seguimiento;* Controla la presencia y provee los recursos no previstos. El software debe permitir el enlace de comunicación en código de barras y poder verificar el estado de avance de las ejecuciones de trabajo. Los datos obtenidos en el seguimiento de actividades del personal propio y de contrato, deben ser analizados por separado, tanto en la gestión de trabajos como de servicios. Para el cierre técnico debe almacenarse la información en el historial, y para el cierre contable controlar sus costos.

Las características de las funciones propias a la gestión se detallan a continuación:

- *Reportes de intervención;* Se genera un informe que bosqueja información relevante al control de mantenimiento, como por ejemplo; la ubicación, datos y

condiciones técnicas del equipo intervenido, fecha, tiempo y descripción de falla, las posibles causas, los efectos del daño, los recursos utilizados, el tipo de mantenimiento efectuado, los costos generados, entre otros. Esta información es almacenada en el historial y es de gran importancia para el análisis de fallas y el control del mantenimiento mediante las gestiones de costos, trabajos, servicios, talento humano y bodegas.

- *Gestión de bodegas;* Facilita el control del flujo de repuestos y materiales que mayormente se utilizan, intercambiando la información con el historial y la Gestión de costos. Se considera la gestión de bodegas por ser un parámetro directo en la planificación de intervenciones. Por lo general se establece la respuesta a los pedidos de las órdenes de trabajo, y se desarrolla un seguimiento a las salidas de los repuestos, solicitud de compra y control de presupuesto. Se debe controlar la calidad de los repuestos de manera que el ingreso a bodegas sea supervisado por personal especializado. Tanto lo que sale como lo que entra a bodega es controlado e inventariado.
- *Gestión de talento humano;* se debe establecer una base de personal especializado en el desempeño de las diferentes actividades. El software debe permitir la selección del personal profesional mediante una gestión de competencia, de manera que se pueda calificar al talento humano mediante el cumplimiento de procedimientos establecidos por la organización. Se asigna de manera confiable la responsabilidad de ejecución de la OT. Para determinar la disponibilidad del personal y asignarlo a la planificación de nuevas intervenciones, se toma en consideración un control de horario, seguimiento de actividad y la planificación de cargas.
- *Gestión de costos;* Clasifica los costos generados en función de los tipos de intervención, interactuando la información con el historial. Se clasifican los costos de mantenimiento según el tipo de intervención y los aspectos financieros. El seguimiento del presupuesto producido por las compras realizadas se registran en el historial. Es importante considerar el costo de ciclo de vida de los activos físicos a mantener para establecer la información a contabilidad.
- *Gestión de trabajos;* Controla el estado de avance de las actividades, para programar las pendientes según parámetros de criticidad, producción, complejidad, etc. Para la gestión de trabajos con OT, es necesario un seguimiento de la intervención. Los trabajos con OT abierta necesitan completar su

planificación y tener una alta disponibilidad de los recursos. El sistema debe considerar el a los trabajos sin OT, tales como las intervenciones de emergencia, trabajos de mantenimiento preventivo sin OT, intervenciones de contratistas sin OT, mantenimiento subcontratado y taller de mantenimiento

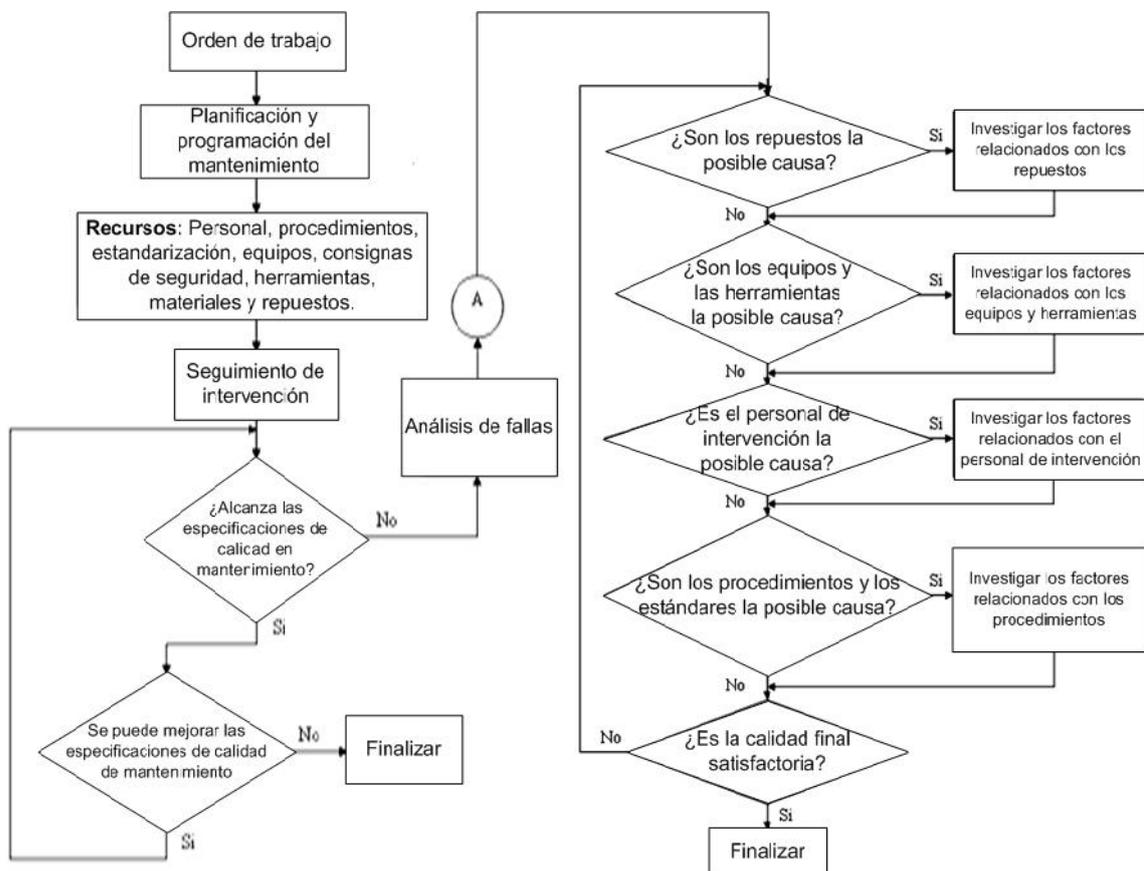
- *Gestión de servicios;* Determina en que actividad dentro de la empresa es más conveniente contratar servicios externos de mantenimiento. Considera la disponibilidad del personal y los recursos dentro de la organización. Registra las ofertas de entidades de servicio de mantenimiento externas a la organización, se enfoca en costo del servicio por intervención, tiempo de ejecución, efectividad, especialización, ente otros.
- *Indicadores de mantenimiento;* Se elaboran informes en la que se pueda evidenciar los principales indicadores de mantenimiento constituidos por gráficos, valores numérico, ratios por períodos acumulados sean días o meses, eligiendo el período, variantes por turno, por máquina, por máquina y turno, y global de la planta. Todo ello sin límite de fechas, alcanzando especificaciones de calidad de mantenimiento en los equipos y procesos considerado que sean:
  - Confiables = que el MTBF aumente y la densidad de falla de un período con respecto al otro sea menor. Buscando cero fallas en los procesos y equipos.
  - Disponibles = Listos para operar con una tendencia a mantenerse en un 100%.
  - Mantenibles = cada vez sea más rápida la reparación, el MTTR de un período con respecto al otro sea menor.
  - Mediante contadores se mida el tiempo real del funcionamiento de los equipos más representativos del proceso, determinando las horas efectivas, pudiendo así estimar las demoras y el tiempo disponible.
  - Una eficiencia global de las instalaciones, superior al 85%
  - El costo de mantenimiento por facturación entre el 5 – 12%
  - El costo de mantenimiento por valor de reposición debe ser evaluado a criterio por cada remplazo de equipo.

En la figura 61 se detalla el proceso lógico de las funciones para un software de gestión de mantenimiento ajustadas a los requerimientos de la industria cementera ecuatoriana.



- Análisis de fallas:* Se asigna un código que facilita la identificación y vinculación con el equipo. Se determina la causa raíz y los efectos de una falla en estudio, para lo cual es necesario el análisis de las combinaciones de fallas utilizando una aplicación informática de tipo RCM como herramienta que ayude a validar la solicitud de trabajo, asignando de mejor manera los recursos en la planificación. Se registran las fallas con sus causas y efectos en cada equipo, formando parte de la información técnica del historial. Las intervenciones de mantenimiento registradas por equipo en el historial, deben ser clasificadas según; el tipo, el tiempo de reparación, el equipo afectado, los técnicos que hicieron la actividad, entre otros aspectos. Se evalúa e identifica estadísticamente las anomalías en las intervenciones, pudiendo así determinar la ocurrencia de las fallas en cada equipo por causa de malas intervenciones, deficiencia en la planificación, etc. Tanto la información de las fallas analizadas por equipo, como las intervenciones registradas en el historial, se debe evidenciar para el análisis de fallas que determina mejores estrategias de mantenimiento, alcanzando especificaciones de calidad.

**Figura 62.** Proceso de mejoramiento de las especificaciones de calidad de mantenimiento.



Fuente. El autor

#### 4.4 Definición de herramientas para un software de gestión del mantenimiento.

El software de gestión de mantenimiento de tipo CMMS que se recomienda para la industria cementera del Ecuador debe emplear al menos las siguientes herramientas como aplicaciones de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), que optimicen algunas de las características de funciones:

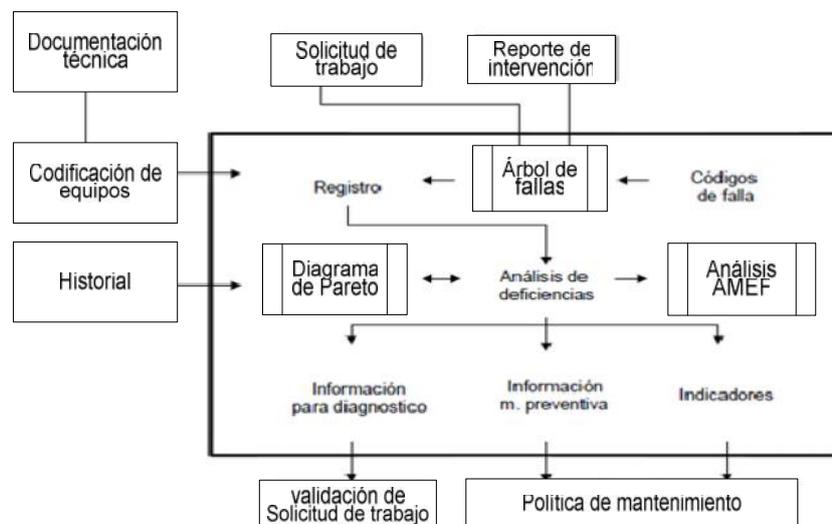
**4.4.1** *Árbol de fallas.* Como aplicación informática esta herramienta comprende una interfaz gráfica que el usuario pueda construir las combinaciones de fallas necesarias. Para la utilización del árbol de fallas como herramienta, se establece una tabla de ingreso de fallas suscitadas o modos de fallas, con el fin de codificarlas y clasificarlas jerárquicamente según el tipo, sus causas y efectos por cada equipo y componente. Es de gran ayuda que el software tenga en su base de datos, información preclasificada de fallas suscitadas a equipos existentes en la fabricación de cemento, de manera que se agilite el seleccionamiento de las fallas en estudio. Sabiendo que la criticidad de los equipos e instalaciones de cada cementera ya se tiene establecido. Se aplica el árbol de fallas para el estudio de las solicitudes de trabajo, las registra por cada equipo, y valida de mejor manera al momento de encontrar su causa raíz. Los reportes de intervención también son analizados, pero con el objetivo de definir las combinaciones de fallas por equipo de forma sistémica. Se registra la información y se almacena en el historial. Gracias a la información de los registros de intervenciones analizadas por el árbol de fallas, se puede calcular con mayor facilidad la probabilidad de ocurrencia de las fallas. Se debe permitir la clasificación de las fallas en función de cada componente de equipo, como también vincular las fallas a equipos parecidos, pudiendo así agilizar la elaboración de cada árbol de falla. El software debe disponer de las reglas para elaborar el árbol de fallas (ver anexo O), y garantizar resultados confiables.

**4.4.2** *Diagrama de Pareto.* Esta herramienta se emplea como aplicación informática con el objetivo de estudiar y graficar estadísticamente los tipos de intervenciones y adecuaciones registradas en el historial de mantenimiento de acuerdo a las fallas suscitadas (ver anexo P). El historial debe disponer de la información de las intervenciones, en la que se pueda clasificar por el tipo de intervención según cada equipo de forma sistémica. Esta herramienta debe entregar como resultado, el equipo de más intervenciones, clasificando los tipos de mantenimiento realizados y la frecuencia de la detención o falla. Tanto la información generada por el diagrama de Pareto como la del árbol de fallas, debe servir para la generación de informes e indicadores, como

también ser utilizada para el estudio del modo y efecto de fallas, con el fin de optimizar las actividades preventivas.

**4.4.3** *Análisis de modo y efecto de fallas (AMEF)*. Permite encontrar las fallas o averías antes de que ocurran, asignando de mejor manera las actividades preventivas o predictivas. Se debe facilitar la aplicación de su metodología (ver el anexo K), pudiendo utilizar la información referente a las fallas por cada equipo registrado, la probabilidad de ocurrencia de las fallas reportadas, los equipos que más han sido mantenidos y los tipos de intervenciones. La información que genera el análisis de modo y efecto de fallas sirve para determinar las mejores estrategias de mantenimiento, como también para el seleccionamiento de las herramientas predictivas y los procedimientos de inspección. De esta manera se obtiene la información necesaria para poder prevenir las consecuencias o efectos de las posibles fallas, a partir de la selección adecuada de actividades de mantenimiento, las cuales actuarán sobre cada modo de falla y sus posibles consecuencias. La intervención de cada herramienta en la función del Análisis de fallas del software recomendado, se puede resumir en la figura 62.

**Figura 63.** Estructura de la función de análisis de fallas y la aplicación de herramientas.



Fuente. El autor

La aplicación de las herramientas en la función de la política de mantenimiento se puede evidenciar en la figura 63.

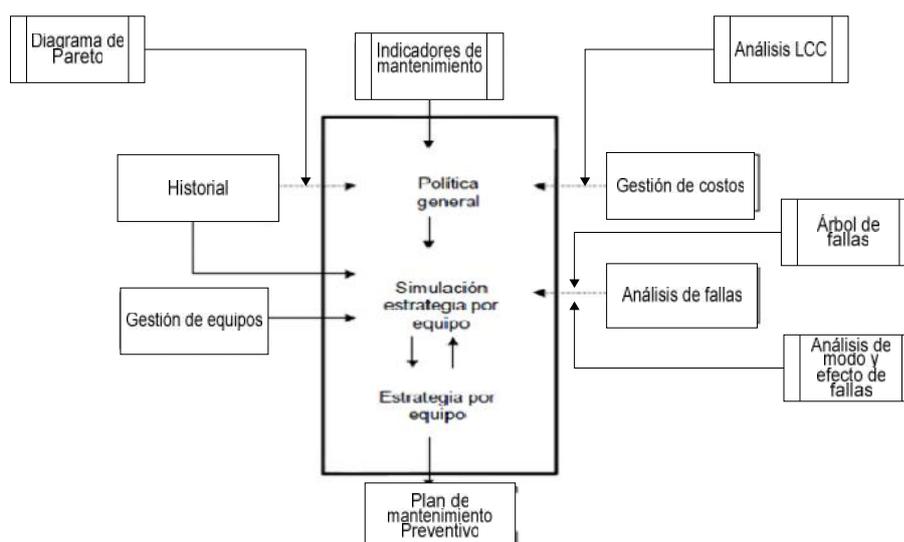
**4.4.4** *Análisis de costo del ciclo de vida (LCC)*. Para la aplicación del análisis LCC como herramienta soporte de la función de gestión de costos, se debe jerarquizar y

clasificar los costos que se generan en cada equipo, y los recursos utilizados por intervención. También se considera el seguimiento de los costos, tomando en cuenta las necesidades que se genera para establecer compras y registro de esta actividad en el historial. Para el análisis del costo de ciclo de vida para cada equipo, se toma en cuenta lo generado por la gestión de equipos, las reparaciones, trabajos, recursos utilizados, etc. La generación de informes con diagramas estadísticos e indicadores es importante, para establecer un control contable. Se aplica la metodología del LCC representada en el anexo L, debiendo también tomar en cuenta las pérdidas de producción por parte mantenimiento.

Se toma en cuenta los tres indicadores complementarios relativos del comportamiento económico de las alternativas, que son compatibles con el *LCC*, al tener períodos de tiempo iguales y tasas de descuentos similares en donde debe cumplirse que:

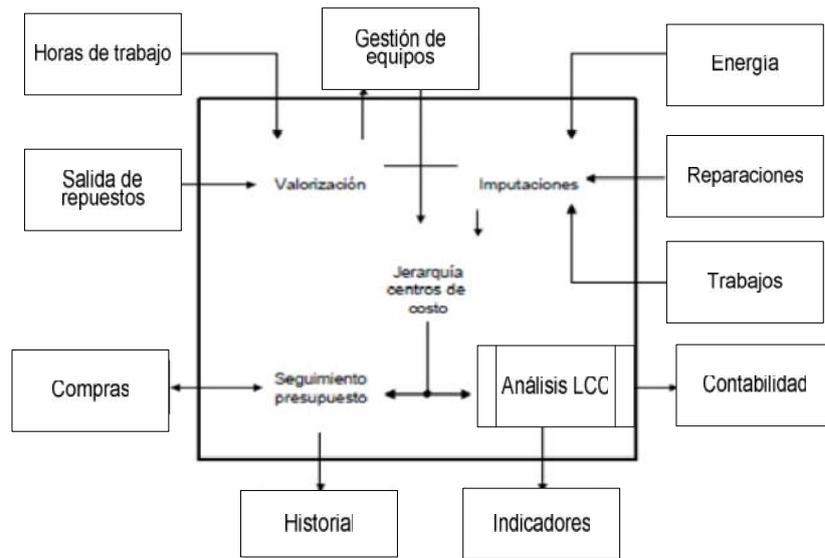
- El ahorro neto sea mayor a cero, para que el proyecto se considere económicamente eficiente. Es decir la mejor alternativa de inversión para la reducción de los costos de operación.
- Cuando la tasa de ahorro de la inversión  $SIR > 1,0$  es económicamente justificada la alternativa.
- La tasa interna de retorno ajustada, su valor sea superior a la tasa de descuento.

**Figura 64.** Estructura de la función política de mantenimiento y la aplicación de herramientas.



Fuente. El autor

**Figura 65.** Estructura de la gestión de costos y la aplicación de la herramienta LCC.



Fuente. El autor

Tomando en cuenta los factores de software utilizados actualmente en las cementeras del país expresadas en el anexo J, y habiendo ya definido las funciones y herramientas recomendadas. Se puede considerar una aproximación en el costo por licencia según el número de aplicaciones, llegando a un límite inferior de 1900 y superior de 3800 USD, para establecer una competitividad en el mercado.

Para la implementación total de sistema se debe considerar los siguientes costos:

- Costo del Hardware; considerar un equipo de cómputo adecuado para poder funcionar
- Costo de licencia
- Costo por Software y hardware adicional; para equipo de lectura de código de barras y contador de tiempo.
- Costo de la Implementación de procesos; considerando al asesoramiento, consultoría y capacitación del personal.
- Costo de mantenimiento del sistema.
- Costo de actualización periódica del sistema.

La propuesta puede ser asumida por cualquiera de los departamentos de mantenimiento de las plantas productoras de cemento del Ecuador, e incluso se la puede aplicar a otro tipo de proceso industrial que al momento no cuenta con una implementación de la gestión de mantenimiento asistida por computador. Si se la propone como tesis de grado la ESPOCH y sus estudiantes, serían los más beneficiarios.

## CAPÍTULO V

### 5.1 Conclusiones

Se definió las funciones y herramientas para un software de gestión de mantenimiento ajustadas a los requerimientos de la industria cementera ecuatoriana, en donde se cumplen los objetivos del mantenimiento como sistema, gracias a que se encontró mejores parámetros para optimizar la planificación, ejecución y control del mantenimiento. Formando parte de la Optimización Integral del Mantenimiento, al momento de entregar resultados permanentes y sustentar la Confiabilidad Operacional.

Se determinó que el software de tipo CMMS con aplicaciones RCM es el más aconsejado para implementarlo en la industria cementera. Gracias a la determinación de un marco teórico, y la comparación entre los resultados del análisis y diagnóstico de la gestión del mantenimiento manual con las características de los software utilizados actualmente.

Se determinó la situación actual de la gestión del mantenimiento de cada planta, pudiendo así encontrar seis inconformidades tales como; falta de documentación de equipos no críticos o importantes, no se analiza fallas en los equipos, aumento de trabajos de emergencia, no se analiza los costos de mantenimiento por tipo de intervención (preventivo y correctivo), aumento de trabajos pendientes, y falta de seguimiento a las actividades. Las cuales afectan al manejo de información de los equipos, mantenimiento actual y manejo de costos en los departamentos de mantenimiento de cada planta cementera.

Se evaluó las características de los software aplicados actualmente en cada planta cementera del país, encontrando avances en las aplicaciones de los ERP y EAM para con las características de las funciones propias a la planificación y gestión de costos. Pero se evidencia la falta de herramientas para el tratamiento del historial y la generación de indicadores de mantenimiento. SisMAC demostró una deficiencia en el seguimiento de actividades contratadas, y menos oportunidades las funciones de gestión de bodegas, costos, análisis de gastos y presupuesto.

Se describió la conformación de la industria cementera ecuatoriana, los departamentos de mantenimiento y la organización de cada una de las empresas regidas por el INECYC, permitiendo establecer los alcances que debe tener el software recomendado.

## 5.2 Recomendaciones

Es importante considerar los parámetros definidos en cada función del software de tipo CMMS determinado, y el aporte de las herramientas que proporcionan mejor manejo de la información de la gestión del mantenimiento asistido por computador. Para la implementación de este servicio, es necesario que el personal de mantenimiento conozca los alcances y la importancia de su integración al sistema, así como la constante capacitación.

Hay que tomar en cuenta que la aplicación de software de tipo CMMS y RCM actualmente se lo realiza de manera separada, ya que no se han encontrado aplicaciones que sincronicen sus bases de datos. Pero el requerimiento de la industria cementera es integrarlas éstas dos en una sola, por lo que habrá que investigar nuevas tendencias tecnológicas en el sector de la informática.

Es necesario mejorar aspectos de inconformidad encontrados en la situación actual de la gestión manual del mantenimiento, por lo que se aconseja a cada departamento de mantenimiento:

Planificar las intervenciones correctivas a equipos no críticos que no llevan documentación de actividades,

Realizar el estudio del historial de intervenciones con herramientas de ingeniería de confiabilidad, ya que por no hacerlo, se ha incrementado las intervenciones de emergencia.

Analizar los costos generados por mantenimiento preventivo y correctivo, para establecer un equilibrio en los costos de mantenimiento por intervención.

Analizar las intervenciones pendientes con la finalidad de optar por la contratación de mantenimiento de forma más amplia y controlada.

Realizar un seguimiento de actividades más compacto y documentado, tanto con el personal propio como contratado.

Es de gran importancia la utilización de aplicaciones de tipo RCM que optimicen la planificación de las actividades de mantenimiento, por lo que la información obtenida para el cálculo y representación de indicadores de mantenimiento, sea respaldada de forma documentada, pudiendo generar reportes e informes del desempeño de las actividades de mantenimiento.

Se debe considerar los factores claves de seleccionamiento del software, como punto de referencia para competir con las aplicaciones informáticas actuales.

Es importante jerarquizar y clasificar los costos que se generan en los equipos por cada intervención, para poder identificar todos los costos necesarios para el análisis de costo del ciclo de vida.

Para obtener la información referente al área de mantenimiento y su desempeño, fue necesario dialogar directamente con el personal que programa o ejecuta el mantenimiento dentro de cada planta, para evitar las dificultades en la comunicación, esto sucede con frecuencia en las empresas privadas, por lo que es importante considerar las diferentes políticas que se manejan cada empresa para con la integración en la comunidad.