



Ingeniería de mantenimiento

Manual práctico para la gestión
eficaz del mantenimiento industrial

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Ingeniería de Mantenimiento

Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento

Módulo 4

© Santiago García Garrido 2009-2012

Todos los derechos reservados.

Prohibida la reproducción de textos o gráficos
de este documento por cualquier medio
sin el consentimiento expreso
del titular del copyright

Las copias digitales de este documento están estrictamente prohibidas



ingeniería de mantenimiento

**Manual práctico para la gestión
eficaz del mantenimiento industrial**





SOBRE EL AUTOR...

Santiago García Garrido es licenciado en Ciencias Químicas, Máster en Administración de Empresas (MBA) y Técnico Superior en Electrónica.

Ha sido Responsable de Ingeniería de Mantenimiento de MASA, Director Técnico de la revista de electrónica práctica RESISTOR, Director de Planta de la Central de Ciclo Combinado de San Roque (perteneciente a GAS NATURAL), y Director Gerente de OPEMASA (Grupo DURO FELGUERA) y POWER SUPPORT (actualmente, Grupo EDF), todas ellas empresas de reconocido prestigio dedicadas a la operación y mantenimiento de plantas de energía. Actualmente ocupa el cargo de Director Técnico de RENOVETEC.

Es autor de los libros 'Organización y Gestión Integral de Mantenimiento', 'Operación y Mantenimiento de Centrales de Ciclo Combinado', 'Cogeneración: Diseño, Operación y Mantenimiento de Plantas', 'La contratación del mantenimiento', 'Motores de gas en plantas de cogeneración' e 'Ingeniería Termosolar', entre muchos otros.



Índice

1	LOS OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO	1
1.1	IDEAS BÁSICAS SOBRE MANTENIMIENTO	1
1.2	OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO DE UNA INSTALACIÓN INDUSTRIAL	4
1.2.1	<i>El objetivo de disponibilidad</i>	5
1.2.2	<i>El objetivo de fiabilidad</i>	6
1.2.3	<i>La vida útil de la planta</i>	7
1.2.4	<i>El cumplimiento del presupuesto</i>	8
1.3	LA MENTALIDAD DE MANTENIMIENTO A CORTO PLAZO	9
1.4	POSIBILIDADES PARA AFRONTAR EL MANTENIMIENTO	10
1.4.1	<i>O&M realizado por el propietario en su totalidad</i>	11
1.4.2	<i>O&M realizado por el propietario con el apoyo de fabricantes</i>	12
1.4.3	<i>O&M realizado por la Ingeniería encargada del proyecto</i>	13
1.4.4	<i>O&M realizado por una empresa especializada</i>	14
1.5	EL MANTENIMIENTO, LA GRAN ASIGNATURA PENDIENTE	14
1.5.1	<i>Organización del personal</i>	15
1.5.2	<i>Los puntos pendientes de la construcción</i>	15
1.5.3	<i>Elaboración del plan de mantenimiento</i>	16
1.5.4	<i>Repuesto en stock y gestión de materiales</i>	17
1.5.5	<i>Medios técnicos</i>	17
1.5.6	<i>La falta de investigación de averías graves</i>	18
1.5.7	<i>Los GMAO y la burocratización del mantenimiento</i>	18
1.5.8	<i>La ISO 9001</i>	19
1.5.9	<i>Herramientas de gestión mal empleadas</i>	19

2	ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO	21
2.1	TIPOS DE TAREAS DE MANTENIMIENTO	21
2.2	ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	22
2.3	ESTRATEGIA CORRECTIVA	25
2.4	ESTRATEGIA CONDICIONAL	26
2.5	ESTRATEGIA SISTEMÁTICA	29
2.6	ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO DE ALTA DISPONIBILIDAD	32
2.7	ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO DE ALTA FIABILIDAD	33

3	EL ORGANIGRAMA DE MANTENIMIENTO	37
3.1	LOS RECURSOS HUMANOS EN MANTENIMIENTO	37
3.2	CRITERIOS PARA LA DEFINICIÓN DEL ORGANIGRAMA	38
3.2.1	<i>Determinación de los puestos indirectos</i>	39
3.2.2	<i>Elaboración del plan de mantenimiento</i>	42
3.2.3	<i>Estimación de la carga de trabajo preventiva</i>	43
3.2.4	<i>Política de externalización</i>	44
3.2.5	<i>Cálculo de la carga de trabajo preventiva corregida</i>	46
3.2.6	<i>Velocidad de respuesta</i>	46
3.2.7	<i>Objetivo de disponibilidad</i>	47
3.2.8	<i>Análisis de especialidades</i>	47
3.2.9	<i>La composición final</i>	48
3.3	ORGANIGRAMAS TÍPICOS	49
3.3.1	<i>Organigrama básico</i>	49

3.3.2 Organigrama por oficios	49
3.3.3 Organigrama por tipo de mantenimiento	50
3.3.4 Organigrama por horarios	50
3.3.5 'Pool' de personal de mantenimiento	51
3.3.6 Ventajas y desventajas de cada organigrama	51
3.3.7 Organigrama complejo	52
3.4 DESCRIPCIÓN DE PUESTOS DE TRABAJO INDIRECTOS	55
3.4.1 Jefe de Mantenimiento	55
3.4.2 Responsable de Oficina Técnica de Mantenimiento	56
3.4.3 Responsable de almacén (almacenero)	58
3.5 DESCRIPCIÓN DE PUESTOS DE TRABADO DIRECTOS	59
3.5.1 Responsable mecánico	59
3.5.2 Responsable eléctrico	60
3.5.4 Mecánicos ajustadores	60
3.5.5 Ayudantes	61
3.5.6 Electricistas de alta y baja Tensión	61
3.5.7 Electrónicos e instrumentistas	63
3.5.8 Ingeniero de control	64
3.6 ERRORES HABITUALES EN LA CONFIGURACIÓN DEL ORGANIGRAMA	64
3.6.1 La supresión de puestos clave	65
3.6.2 Organigramas a medida de las personas, no de la planta	66
3.6.3 Aumento de puestos indirectos	66
3.7 POLIVALENCIA Y ESPECIALIZACIÓN	67
3.7.1 La especialización	67
3.7.2 Ventajas e inconvenientes de la especialización	68
3.7.3 La polivalencia como táctica para la optimización	69

4	LA ELABORACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO	73
4.1	LA NECESIDAD DE ELABORAR UN PLAN DE MANTENIMIENTO	73
4.2	LA PÉRDIDA DE PRODUCCIÓN POR UN MAL MANTENIMIENTO	76
4.3	QUÉ ES UN PLAN DE MANTENIMIENTO	77
4.4	LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO	77
4.4.1	<i>Frecuencia</i>	78
4.4.2	<i>Especialidad</i>	79
4.4.3	<i>Duración</i>	80
4.4.4	<i>Permiso de trabajo</i>	80
4.4.5	<i>Máquina parada o en marcha</i>	80
4.5	LA AGRUPACIÓN DE TAREAS EN GAMAS	81
4.6	FORMAS DE ELABORAR UN PLAN DE MANTENIMIENTO	82
4.7	ERRORES HABITUALES AL ELABORAR PLANES DE MANTENIMIENTO	83
4.7.1	<i>Seguir en exceso las recomendaciones de los fabricantes</i>	83
4.7.2	<i>Orientar el plan de mantenimiento a equipos</i>	84
4.7.3	<i>No contar con el personal de operación para el mto. diario</i>	85
4.7.4	<i>Creer que el programa informático mantiene la instalación</i>	86
4.7.5	<i>Tratar de registrar los resultados de inspecciones diarias</i>	86
4.7.6	<i>No implicar al personal de mantenimiento en la elaboración</i>	86
4.7.7	<i>Falta de mentalización preventiva</i>	87
5	PLAN DE MTO. BASADO EN INSTRUCCIONES DE FABRICANTES	89
5.1	FASES EN LA ELABORACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO	90
5.2	LISTADO DE SISTEMAS	91

5.3 LISTADO DE EQUIPOS	93
5.4 ELECCIÓN DEL FORMATO	93
5.5 ACOPIO DE MANUALES	95
5.6 ESTUDIO DE LOS MANUALES	97
5.7 APORTACIONES DE LOS RESPONSABLES DE MANTENIMIENTO	97
5.8 MANTENIMIENTO LEGAL	98
5.9 DETERMINACIÓN DE LA ESPECIALIDAD	99
5.10 EL PLAN OBTENIDO	99
5.11 INCONVENIENTES DE ESTA FORMA DE REALIZACIÓN DEL PLAN	99
6 PLAN DE MTO. BASADO EN PROTOCOLOS POR EQUIPO	103
6.1 LOS PROTOCOLOS DE MANTENIMIENTO	105
6.1.1 <i>Deteminación de las tareas</i>	106
6.1.2 <i>Especialidad del trabajo</i>	108
6.1.3 <i>Frecuencia</i>	110
6.1.4 <i>Duración estimada</i>	114
6.1.5 <i>Permiso de trabajo</i>	115
6.1.6 <i>Equipo parado/en marcha</i>	115
6.1.7 <i>Ejemplo de protocolo de mantenimiento</i>	115
6.1.8 <i>Listado completo de los protocolos necesarios</i>	115
6.2 DESCOMPOSICIÓN DE LA PLANTA EN SISTEMAS	123
6.3 LISTADOS DE EQUIPOS MANTENIBLES	123
6.3.1 <i>La estructura jerárquica de la planta</i>	123
6.3.2 <i>Decisiones</i>	125

6.3.3	<i>Criterios recomendados por RENOVIETEC</i>	127
6.3.4	<i>Ejemplo de listado de equipos</i>	128
6.4	APLICACIÓN DE PROTOCOLOS	130
6.5	OBTENCIÓN DE LAS GAMAS DE MANTENIMIENTO	131
6.6	REVISIÓN MANUAL DE LAS GAMAS OBTENIDAS	132
6.7	MANTENIMIENTO LEGAL	133
6.8	CODIFICACIÓN DE LAS GAMAS	133
6.9	PROGRAMACIÓN DE LAS GAMAS	138
6.10	TIEMPO DE ELABORACIÓN DEL PLAN	139
6.11	VENTAJAS E INCONVENIENTES	139
7	PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM	143
7.1	¿QUE ES RCM?	143
7.2	BREVE HISTORIA DEL RCM	144
7.3	LAS VENTAJAS DE LA APLICACIÓN DE RCM	148
7.3.1	<i>La mejora de la seguridad</i>	148
7.3.2	<i>La mejora del impacto ambiental</i>	149
7.3.3	<i>El aumento de la producción</i>	149
7.3.4	<i>El aumento de fiabilidad de la instalación</i>	149
7.3.5	<i>La disminución de costes de mantenimiento</i>	149
7.3.6	<i>El aumento en el conocimiento de la instalación</i>	151
7.3.7	<i>La disminución de la dependencia de los fabricantes</i>	151
7.4	INCONVENIENTES DE RCM	152
7.5	LOS FRACASOS EN LOS PROYECTOS DE IMPLANTACIÓN DE RCM	152

7.6 EL EQUIPO NECESARIO PARA REALIZAR UN ESTUDIO RCM	155
7.7 ¿RCM APLICADO A EQUIPOS CRÍTICOS O A TODA LA PLANTA?	156
7.8 EL NIVEL DE PROFUNDIDAD CON EL QUE ABORDAR EL ESTUDIO	159
7.9 LAS SIETE PREGUNTAS CLAVE	159
7.10 RESUMEN DE LAS 10 FASES DE RCM	160
7.11 FASE 1: DEFINICIÓN DE INDICADORES CLAVE	161
7.12 FASE 2: LISTADO Y CODIFICACIÓN DE EQUIPOS	162
7.13 FASE 3: LISTADO DE FUNCIONES Y SUS ESPECIFICACIONES	164
7.13.1 <i>La determinación de las funciones</i>	164
7.13.2 <i>Funciones primarias y secundarias</i>	165
7.13.3 <i>El análisis de los subsistemas. Fallos primarios y secundarios</i>	166
7.13.4 <i>El análisis de los equipos que componen los sistemas y subsistemas</i>	167
7.14 FASE 4: DETERMINACIÓN DE FALLOS PRINCIPALES Y SECUNDARIOS	167
7.15 FASE 5: DETERMINACIÓN DE LOS MODOS DE FALLO	168
7.15.1 <i>Qué es un modo de fallo</i>	168
7.15.2 <i>Profundidad del proceso de identificación de modos de fallo</i>	169
7.15.3 <i>Las causas de los fallos</i>	170
7.15.4 <i>El diagrama de Ishikawa</i>	173
7.15.5 <i>Proceso de análisis de las causas de los fallos</i>	173
7.15.6 <i>Fuentes de información para determinar los modos de fallo</i>	174
7.16 FASE 6: ESTUDIO DE CRITICIDAD DE LOS FALLOS	179
7.16.1 <i>La evidencia del fallo</i>	180
7.16.2 <i>Consecuencias del fallo para la seguridad de las personas</i>	181
7.16.3 <i>Consecuencias del fallo para el medioambiente</i>	182
7.16.4 <i>Consecuencias del fallo para la producción de energía</i>	183
7.16.5 <i>Consecuencias del fallo en los costes de reparación</i>	184

7.16.6	<i>La probabilidad del fallo</i>	185
7.16.7	<i>Criticidad de los fallos: combinación de factores</i>	186
7.17	FASE 7: DETERMINACIÓN DE LAS MEDIDAS PREVENTIVAS	190
7.17.1	<i>Tipos de medidas preventivas</i>	190
7.17.2	<i>Tipos de tareas de mantenimiento</i>	191
7.17.3	<i>Relación entre la criticidad y las tareas de mantenimiento</i>	194
7.17.4	<i>Frecuencia con la que realizar las tareas</i>	196
7.17.5	<i>Modificaciones</i>	198
7.17.6	<i>Adopción de medidas tendentes a minimizar los efectos del fallo</i>	203
7.17.7	<i>Cambios en procedimientos de operación</i>	206
7.17.8	<i>Cambios en procedimientos de mantenimiento</i>	207
7.17.9	<i>Formación</i>	207
7.17.10	<i>El diagrama de decisión</i>	207
7.18	FASE 8: AGRUPACIÓN DE MEDIDAS PREVENTIVAS	214
7.19	FASE 9: IMPLEMENTACIÓN DE LOS RESULTADOS	215
7.19.1	<i>Lista de mejoras</i>	215
7.19.2	<i>Plan de Mantenimiento</i>	216
7.19.3	<i>Elaboración de procedimientos</i>	217
7.19.4	<i>Realización de acciones formativas</i>	217
7.19.5	<i>Adquisición de repuesto</i>	217
7.20	SEGUIMIENTO DE RESULTADOS	217
7.21	DIFERENCIAS ENTRE EL PLAN DE MANTENIMIENTO INICIAL Y RCM	219
8	MANTENIMIENTO POR REQUERIMIENTOS LEGALES	221
8.1	LA IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO LEGAL	221
8.2	LA RESPONSABILIDAD DE TITULAR DE LA INSTALACIÓN	222

8.3 FORMAS DE ABORDAR EL MANTENIMIENTO LEGAL	224
8.4 RESUMEN DE EQUIPOS SOMETIDOS A MANTENIMIENTO LEGAL	226
8.5 NORMATIVA DE REFERENCIA	226
8.6 INSTALACIONES DE ALTA TENSIÓN	230
8.6.1 <i>Centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación</i>	230
8.6.2 <i>Inspecciones a realizar por el usuario o empresa cualificada</i>	231
8.6.3 <i>Inspecciones a realizar por un Organismo de Control Autorizado</i>	235
8.6.4 <i>Líneas eléctricas de Alta Tensión</i>	236
8.7 INSTALACIONES DE BAJA TENSIÓN	238
8.8 EQUIPOS A PRESIÓN	240
8.8.1 <i>El RD 2060/2008</i>	240
8.8.2 <i>Las Instrucciones Técnicas Complementarias</i>	241
8.8.3 <i>Tipos de fluidos</i>	241
8.8.4 <i>Categorías de equipos a presión</i>	242
8.8.5 <i>Niveles de inspección</i>	242
8.8.6 <i>Periodicidad de las inspecciones</i>	245
8.9 INSTALACIONES DE GAS	249
8.9.1 <i>ITC ICG-01. Inst. de distribución de gases por canalización</i>	249
8.9.2 <i>ITC ICG-02. Almacenamiento y distribución de envases de GLP</i>	250
8.9.3 <i>ITC ICG-03. Inst. de almacenamiento de GLP en depósitos fijos</i>	250
8.9.4 <i>ITC ICG-04. Plantas satélite de (GNL)</i>	251
8.9.5 <i>ITC ICG-05. Estaciones de servicio para vehículos a gas</i>	251
8.9.6 <i>ITC ICG-06. Instalaciones de envases de GLP para uso propio</i>	251
8.9.7 <i>ITC ICG-07. Instalaciones receptoras de combustibles gaseosos</i>	252
8.9.8 <i>ITC ICG-08. Aparatos a gas</i>	252
8.10 INSTALACIONES CON RIESGO DE LEGIONELOSIS	252
8.10.1 <i>Tipos de instalaciones con riesgo de legionelosis</i>	252

8.10.2	Medidas preventivas	254
8.10.3	Programas de mantenimiento en las instalaciones	254
8.10.4	Torres de refrigeración y condensadores evaporativos	255
8.11	MÁQUINAS	260
8.12	INSTALACIONES DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS	262
8.13	INSTALACIONES PETROLÍFERAS	264
8.13.1	Normativa de aplicación	264
8.13.2	ITC MI-IP-01. Refinerías	265
8.13.3	ITC MI-IP-02. Parque de Almacenamiento	265
8.13.4	ITC MI-IP-03. Consumo en propia instalación	265
8.13.5	ITC MI-IP-04. Suministro a vehículos	266
8.14	INSTALACIONES TÉRMICAS DE CLIMATIZACIÓN	267
8.15	INSTALACIONES FRIGORÍFICAS	268
8.16	ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS QUÍMICOS	273
8.16.1	ITC MIE-APQ-01. Líquidos inflamables y combustibles	275
8.16.2	ITC MIE APQ-02: Almacenamiento de óxido de etileno	276
8.16.3	ITC MIE APQ-03: Almacenamiento de cloro	276
8.16.4	ITC MIE APQ-04: Almacenamiento de amoníaco anhidro	277
8.16.5	ITC MIE APQ-05: Alm. de botellas de gases licuados y disueltos	280
8.16.6	ITC MIE APQ-06: Almacenamiento de líquidos corrosivos	280
8.16.7	ITC MIE APQ-07: Almacenamiento de líquidos tóxicos	281
8.17	VEHÍCULOS	283
8.18	EQUIPOS DE ELEVACIÓN	283
8.18.1	ITC MIE- AEM-01. Ascensores electromecánicos	284
8.18.2	ITC MIE- AEM-03. Carretillas automotoras de manutención	284
8.18.3	Otras instalaciones, puentes-grúas o polipastos	284

8.19 INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR	285
8.19.1 R.D 842/2002	285
8.19.2 R.D. 1890/08	287
8.20 LA CONSTANCIA DOCUMENTAL: LIBROS DE REGISTRO	290
9 PARADAS Y GRANDES REVISIONES	293
9.1 LA IMPORTANCIA DE LAS PARADAS PROGRAMADAS	293
9.2 TIPOS DE PARADAS	295
9.3 TAREAS A REALIZAR EN UNA PARADA PROGRAMADA	295
9.3.1 <i>Revisiones sistemáticas programadas</i>	295
9.3.2 <i>Realización de inspecciones o pruebas</i>	296
9.3.3 <i>Limpiezas técnicas</i>	297
9.3.4 <i>Realización de Mantenimiento Correctivo Programado</i>	299
9.3.5 <i>Implementación de mejoras</i>	299
9.4 TAREAS A REALIZAR EN PARADAS EN SISTEMAS COMUNES	300
9.4.1 <i>Tareas a realizar en generadores de vapor</i>	300
9.4.2 <i>Tareas a realizar en el ciclo agua-vapor</i>	300
9.4.3 <i>Tareas a realizar en los sistemas eléctricos de alta tensión</i>	301
9.4.4 <i>Tareas a realizar en torres de refrigeración</i>	302
9.4.5 <i>Tareas a realizar en planta de tratamiento de efluentes</i>	303
9.4.6 <i>El sistema de aire comprimido</i>	303
9.4.7 <i>La estación de gas o la planta de Gas Natural Licuado</i>	304
9.5 VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA REALIZACIÓN DE PARADAS	305
9.6 LAS CONTRATAS DE MANTENIMIENTO	305
9.7 LAS OBLIGACIONES DEL PROPIETARIO ANTE LOS CONTRATISTAS	306

9.8 LA PREPARACIÓN DE HERRAMIENTAS Y MEDIOS TÉCNICOS	307
9.9 LA PREPARACIÓN DE MATERIALES	310
9.10 PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO	310
9.11 LA PLANIFICACIÓN DE LAS TAREAS. EL CAMINO CRÍTICO	311
9.11.1 <i>Razones de los retrasos</i>	312
9.11.2 <i>La clave: El camino crítico</i>	315
9.11.3 <i>La preparación del trabajo</i>	316
9.11.4 <i>El enlace entre tareas</i>	317
9.11.5 <i>Los trabajos en paralelo</i>	318
9.12 PROBLEMAS HABITUALES EN LA REALIZACIÓN DE PARADAS	319
9.13 TÉCNICAS PARA OPTIMIZAR LA DURACIÓN DE UNA PARADA	320
9.13.1 <i>La preparación del trabajo</i>	321
9.13.2 <i>La gestión del camino crítico</i>	321
9.13.3 <i>El horario de la intervención</i>	322
9.13.4 <i>La colaboración del propietario con los contratistas</i>	322
9.13.5 <i>La correcta elección de los contratistas</i>	322

Índice

10	MANTENIMIENTO PREDICTIVO	323
10.1	LA IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO	323
10.2	CURVAS DE PROBABILIDAD DE FALLO	324
10.3	OBJETIVOS DEL SEGUIMIENTO DE UNA VARIABLE FÍSICA	327
10.4	¿ES EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO ALGO ÚTIL Y PRÁCTICO?	327
10.5	LA EVOLUCIÓN DEL VALOR MEDIDO	331
10.6	EL EQUILIBRIO TÉCNICO-ECONÓMICO Y LA INFORMACIÓN	332
10.7	LA JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA	333
10.8	LAS RUTAS PREDICTIVAS	334
10.9	EL PREDICTIVO COMO SUSTITUTO COMPLETO DEL SISTEMÁTICO	334
10.10	LA CALIDAD DE LOS EQUIPOS	336
10.11	EL INFORME TRAS UNA INSPECCIÓN PREDICTIVA	337
10.12	PUESTA EN PRÁCTICA DE LAS CONCLUSIONES	338
10.13	ANÁLISIS DE VIBRACIONES	339
10.13.1	<i>La aplicación del análisis de vibraciones</i>	339
10.13.2	<i>Técnicas de análisis</i>	339
10.13.3	<i>Parámetros de las vibraciones</i>	341
10.13.4	<i>Principales características de un analizador</i>	343
10.13.5	<i>Tipos de transductores</i>	344
10.13.6	<i>Formas de fijación del sensor</i>	351
10.13.7	<i>Puntos de medición</i>	352

10.13.8 Normas de severidad	353
10.13.9 Fallos detectables por vibraciones en maquinas rotativas	355
10.13.10 Los sistemas expertos	359
10.14 TERMOGRAFÍA	360
10.14.1 La termografía como técnica predictiva	360
10.14.2 Principios básicos de la termografía	362
10.14.3 Parámetros de los que depende la radiación recibida	365
10.14.4 Ventajas de la termografía	368
10.14.5 Inconvenientes de la termografía	369
10.14.6 Principales características de una cámara termográfica	369
10.14.7 Reglas de oro para tomar una imagen termográfica	370
10.14.8 Aplicaciones de la termografía	371
10.15 INSPECCIONES BOROSCÓPICAS	373
10.15.1 Las inspecciones boroscópicas	373
10.15.2 El boroscopio	374
10.15.3 Defectos detectables mediante inspección boroscópica	376
10.15.4 Los tres aspectos importantes al realizar una boroscopia	377
10.15.5 Aplicación de inspecciones boroscópicas en inst. industriales	379
10.16 INSPECCIONES POR ULTRASONIDOS	380
10.16.1 El empleo de ultrasonidos para localizar fallas	381
10.16.2 Características más importantes del medidor	382
10.17 ANÁLISIS DE ACEITE	382
10.17.1 Equipos en los que resulta de utilidad	383
10.17.2 Análisis de partículas de desgaste	384
10.17.3 Análisis de otros contaminantes	385
10.17.4 Análisis de las propiedades del aceite	387
10.17.5 Análisis de aceite en transformadores	388
10.17.6 Normas elementales para las tomas de muestras de aceite	390
10.17.7 Análisis de aceite. Gratuidad del servicio y sus consecuencias	391

10.18 ANÁLISIS DE HUMOS	394
10.18.1 El analizador de humos	394
10.18.2 Utilidad del control de humos de combustión	395
10.18.3 La contratación del servicio de control de gases de escape	397
11 GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO CORRECTIVO	399
11.1 EL MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y SU GESTIÓN	399
11.2 DISTRIBUCIÓN DEL TIEMPO EN LA RESOLUCIÓN DE UNA FALLO	400
11.3 ASIGNACIÓN DE PRIORIDADES	404
11.4 LISTAS DE AVERÍAS: AYUDAS AL DIAGNÓSTICO	406
11.5 CORRECTIVO PROGRAMADO Y NO PROGRAMADO	410
11.6 EL CORRECTIVO COMO BASE DEL MANTENIMIENTO	410
11.7 ANÁLISIS DE FALLOS	412
11.7.1 Averías graves y averías repetitivas	412
11.7.2 Las causas de los fallos	413
11.7.3 El proceso de análisis de un fallo	415
11.8 GRANDES AVERÍAS Y SEGUROS	427
12 LA GESTIÓN DEL REPUESTO	431
12.1 LA IMPORTANCIA DE LA GESTIÓN DEL REPUESTO	431
12.2 ASPECTOS A GESTIONAR RELATIVOS AL REPUESTO	432
12.3 TIPOS DE REPUESTO	433
12.3.1 Clasificación del repuesto de acuerdo con su función	433
12.3.2 Clasificación de acuerdo con el tipo de proveedor	435
12.3.3 Clasificación del repuesto según la necesidad de tenerlo en stock	437

12.4 JUSTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD DE TENER STOCK DE REPUESTO	437
12.5 ASPECTOS A TENER EN CUENTA EN LA SELECCIÓN DEL STOCK	438
12.5.1 <i>Criticidad de la averías</i>	438
12.5.2 <i>Consumo</i>	439
12.5.3 <i>Plazo de aprovisionamiento</i>	439
12.5.4 <i>Coste de la pieza</i>	439
12.5.5 <i>Medidas alternativas</i>	439
12.6 LA SELECCIÓN DEL STOCK DE REPUESTO	440
12.6.1 <i>Selección basada en las recomendaciones de los fabricantes</i>	440
12.6.2 <i>Selección basada en equipos tipo</i>	442
12.6.3 <i>Selección basada en fallos potenciales</i>	446
12.6.4 <i>Formas mixtas</i>	451
12.6.5 <i>La elaboración de la lista de repuestos</i>	451
12.7 ALMACENES	452
12.7.1 <i>La necesidad de los almacenes</i>	452
12.7.2 <i>La identificación de las piezas de repuesto</i>	452
12.7.3 <i>El control del stock</i>	452
12.7.4 <i>Almacenes centralizados vs almacenes distribuidos</i>	454
12.8 EL PRESUPUESTO EN REPUESTO	457
12.9 REPUESTOS PARA 3 AÑOS DE OPERACIÓN	458
12.10 AHORROS POSIBLES EN LA GESTIÓN DEL REPUESTO	459
12.11 LOS KIT DE ROTACIÓN	460
12.12 LA GESTIÓN DE LA OBSOLESCENCIA	461
12.12.1 <i>Qué es la obsolescencia</i>	461
12.12.2 <i>La obsolescencia y la gestión del repuesto</i>	463
12.12.3 <i>La detección del repuesto obsoleto</i>	463
12.12.4 <i>Como actuar ante el repuesto obsoleto</i>	464

13	HERRAMIENTAS Y MEDIOS TÉCNICOS HABITUALES	465
13.1	MEDIOS TÉCNICOS EN MANTENIMIENTO	465
13.2	VEHÍCULOS	467
13.3	MEDIOS DE ELEVACIÓN	470
13.3.1	<i>Camiones grúa o grúas auto cargantes</i>	470
13.3.2	<i>Grúas autopropulsadas</i>	471
13.3.3	<i>Puentes grúa</i>	474
13.3.4	<i>Pescantes</i>	480
13.3.5	<i>Diferenciales</i>	481
13.3.6	<i>Carretillas elevadoras</i>	482
13.3.7	<i>Plataformas elevadoras</i>	486
13.3.8	<i>Andamios y estructuras provisionales</i>	491
13.4	HERRAMIENTAS DE TALLER	497
13.5	HERRAMIENTAS MECÁNICAS	498
13.6	HERRAMIENTAS PARA MANTENIMIENTO ELÉCTRICO	500
13.7	HERRAMIENTAS PARA EL MTO. DE LA INSTRUMENTACIÓN	501
13.8	HERRAMIENTAS PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO	502
13.9	EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL	503
13.9.1	<i>Los equipos de protección individual</i>	503
13.9.2	<i>Clasificación de EPI según la parte del cuerpo protegida</i>	504
13.9.3	<i>Categorías de los diferentes EPI</i>	504
13.9.4	<i>Protección de la cabeza</i>	506
13.9.5	<i>Protección de ojos y cara</i>	508
13.9.6	<i>Protección de oídos</i>	513
13.9.7	<i>Protección de las vías respiratorias</i>	516

13.9.8	<i>Protección de manos y brazos</i>	520
13.9.9	<i>Protección de pies y piernas</i>	538
13.9.10	<i>Equipos de protección contra caídas</i>	541
13.9.11	<i>Ropa de protección</i>	552
13.10	EL MANTENIMIENTO DE HERRAMIENTAS Y MEDIOS TÉCNICOS	556
13.11	EL PRESUPUESTO DE HERRAMIENTAS Y MEDIOS TÉCNICOS	557
14	TRABAJOS QUE REQUIEREN HERRAMIENTAS ESPECIALES	559
14.1	ALINEACIÓN LÁSER	559
14.1.1	<i>La alineación láser</i>	559
14.1.2	<i>Problemas derivados de una mala alineación</i>	561
14.1.3	<i>Características principales de los alineadores láser</i>	562
14.1.4	<i>Aplicaciones de la alineación láser</i>	564
14.2	EQUILIBRADO DE EQUIPOS ROTATIVOS	564
14.2.1	<i>Desequilibrio estático y dinámico</i>	564
14.2.2	<i>La necesidad de equilibrar los equipos rotativos</i>	568
14.2.3	<i>Máquina y equipos que suelen equilibrarse</i>	568
14.2.4	<i>Equilibrados in-situ</i>	569
14.2.5	<i>Equilibrados en taller</i>	570
14.3	CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN	571
14.3.1	<i>La necesidad de calibrar los dispositivos de medida</i>	571
14.3.2	<i>Errores de los instrumentos</i>	573
14.3.3	<i>Proceso general de calibración</i>	575
14.3.4	<i>Instrumentos y actuadores que se suelen calibrar</i>	576
14.3.5	<i>El plan de calibración</i>	577
14.3.6	<i>Herramientas para la calibración</i>	577

15	LA GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN	579
15.1	DATOS E INFORMACIÓN	597
15.2	DOCUMENTOS GENERADOS POR MANTENIMIENTO	580
15.2.1	<i>Órdenes de trabajo</i>	580
15.2.2	<i>Informes de realización de gamas de mantenimiento</i>	581
15.2.3	<i>Informes de avería</i>	581
15.2.4	<i>Informes mensuales</i>	581
15.2.5	<i>Informes anuales</i>	582
15.3	INDICADORES DE GESTIÓN	582
15.3.1	<i>Índices de Disponibilidad</i>	582
15.3.2	<i>Indicadores de Gestión de Órdenes de Trabajo</i>	584
15.3.3	<i>Índices de coste</i>	586
15.3.4	<i>Índices de proporción de tipo de mantenimiento</i>	588
15.3.5	<i>Índices de Gestión de Almacenes y Compras</i>	588
15.3.6	<i>Índices de Seguridad y Medio Ambiente</i>	590
15.4	SOFTWARE DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO GMAO	592
15.4.1	<i>La generalización del uso de la informática</i>	592
15.4.2	<i>Justificación de la necesidad</i>	593
15.4.3	<i>Objetivos que se pretenden con la informatización</i>	594
15.4.4	<i>Errores habituales que se cometen al implantar sistemas GMAO</i>	596
15.4.5	<i>Proceso de implantación</i>	598
15.4.6	<i>La contratación de la implantación de un GMAO</i>	600
16	EL PERIODO DE IMPLANTACIÓN	603
16.1	LOS SIETE ASPECTOS A CUIDAR DURANTE LA IMPLANTACIÓN	604
16.2	ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN Y PUESTA A PUNTO INICIAL	605

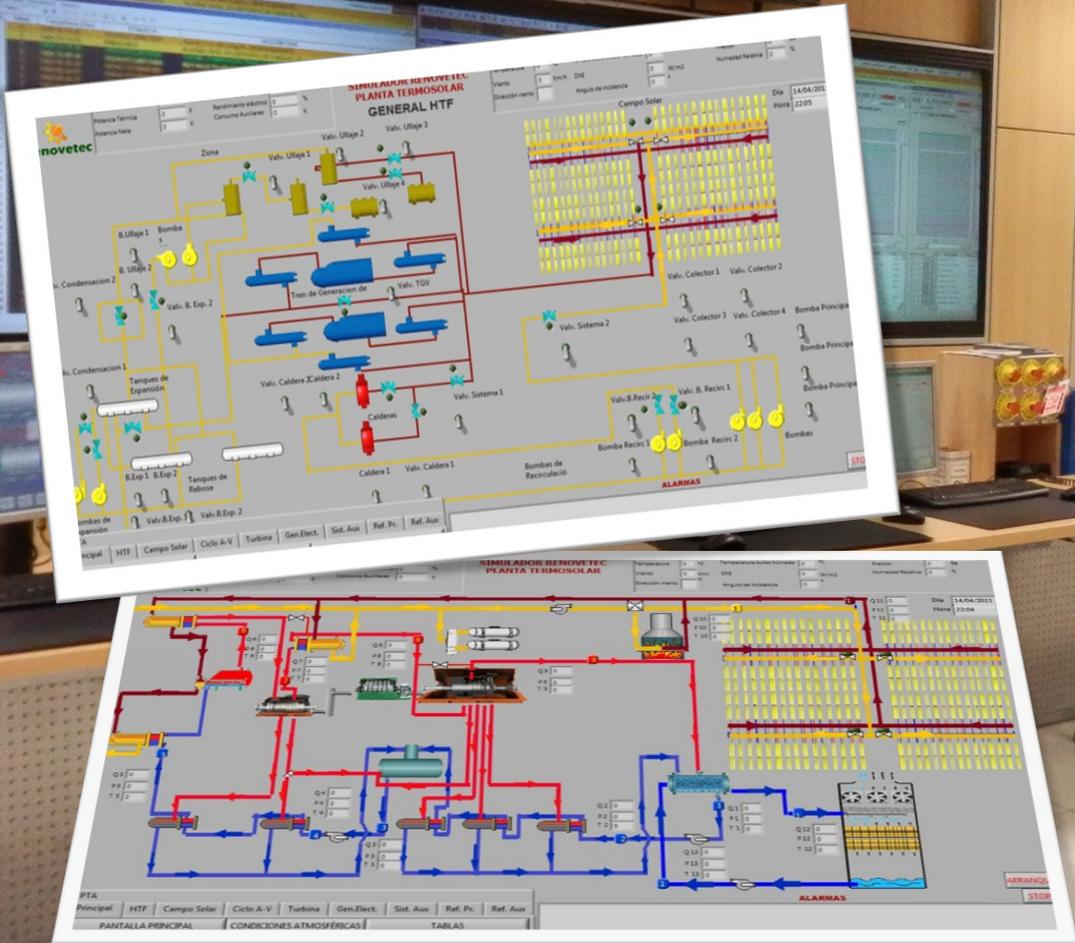
16.3 SELECCIÓN DEL PERSONAL	606
16.4 FORMACIÓN Y ENTRENAMIENTO DEL PERSONAL	607
16.5 MEDIOS TÉCNICOS	607
16.6 REPUESTOS Y CONSUMIBLES	608
16.7 EL PLAN DE MANTENIMIENTO INICIAL	609
16.8 DESARROLLO DE LOS MÉTODOS DE TRABAJO	610
17 EL PRESUPUESTO DE MANTENIMIENTO	611
17.1 COSTES DE IMPLANTACIÓN O MOVILIZACIÓN	612
17.2 COSTE ANUAL DE PERSONAL DE MANTENIMIENTO	613
17.3 COSTE ANUAL EN REPUESTOS Y CONSUMIBLES	615
17.3.1 Repuestos	615
17.3.2 Consumibles	616
17.4 COSTE ANUAL EN HERRAMIENTAS Y MEDIOS TÉCNICOS	617
17.5 COSTE ANUAL EN CONTRATOS EXTERNOS	617
17.6 COSTE DE PARADAS Y GRANDES REVISIONES	619
17.7 SEGUROS, FRANQUICIAS Y LÍMITES DE RESPONSABILIDAD	621
17.8 IMPREVISTOS	622
17.9 RESUMEN DE PARTIDAS QUE FORMAN PARTE DEL PRESUPUESTO	622
17.10 INCREMENTOS DE COSTE A LO LARGO DE LA VIDA DE LA PLANTA	623
17.11 CÁLCULO DEL COSTE DE MANTENIMIENTO EN DIFERENTES PAISES	624
18 EVALUACIÓN TÉCNICA DE INSTALACIONES	625
18.2 PARA QUÉ LLEVAR A CABO UNA EVALUACIÓN TÉCNICA	626

18.2.1	<i>Puesta a punto de instalaciones</i>	626
18.2.2	<i>Suscripción de un seguro de avería de maquinaria</i>	627
18.2.3	<i>Evaluación la operación y el mantenimiento de una instalación</i>	630
18.2.4	<i>Evaluación de la gestión de un contratista de mantenimiento</i>	631
18.2.5	<i>Operaciones de compra o venta de instalaciones</i>	631
18.2.6	<i>Estudio de una posible revisión o ampliación en una planta industrial</i>	631
18.2.7	<i>Análisis de la instalación ante un nuevo contrato de mto.</i>	632
18.3	TIPOS DE EVALUACIONES TÉCNICAS	633
18.3.1	<i>Evaluaciones elementales</i>	633
18.3.2	<i>Evaluaciones básicas</i>	634
18.3.3	<i>Evaluaciones detalladas</i>	634
18.3.4	<i>Evaluaciones exhaustivas</i>	634
18.4	FASES EN LA REALIZACIÓN DE UNA EVALUACIÓN	635
18.4.1	<i>Fase 1: Análisis preliminar de la planta</i>	635
18.4.2	<i>Fase 2: Determinación del tipo de evaluación</i>	635
18.4.3	<i>Fase 3: Aspectos a evaluar</i>	636
18.4.4	<i>Fase 4: Preparación de la evaluación</i>	638
18.4.5	<i>Fase 5: Análisis de la documentación</i>	639
18.4.6	<i>Fase 6: Realización de la visita a planta</i>	641
18.5	ELABORACIÓN DEL INFORME DE EVALUACIÓN	642
18.6	ERRORES HABITUALES EN EVALUACIONES TÉCNICAS	643
19	AUDITORÍAS DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO	647
19.1	CALIDAD Y EXCELENCIA EN MANTENIMIENTO	647
19.2	LA AUDITORÍA DE MANTENIMIENTO	649
19.3	LA GESTIÓN PERFECTA, LA EXCELENCIA EN MANTENIMIENTO	650
19.4	LAS ÁREAS DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO	651

19.5 EL PERFIL DEL AUDITOR	653
19.6 DOCUMENTACIÓN A PREPARAR PREVIAMENTE	654
19.7 ÁREA 1: PERSONAL DE MANTENIMIENTO	656
19.7.1 <i>El modelo ideal</i>	656
19.7.2 <i>Cuestiones propuestas para verificar el área de personal</i>	657
19.7.3 <i>Aclaraciones sobre el cálculo de rendimiento</i>	659
19.8 EL PLAN DE MANTENIMIENTO	662
19.8.1 <i>El modelo ideal</i>	662
19.8.2 <i>El cuestionario de la auditoría</i>	663
19.9 EL MANTENIMIENTO LEGAL	664
19.9.1 <i>El modelo ideal</i>	664
19.9.2 <i>El cuestionario de la auditoría</i>	665
19.10 LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO	666
19.10.1 <i>El modelo ideal</i>	666
19.10.2 <i>El cuestionario de la auditoría</i>	666
19.11 ANÁLISIS DE LOS MEDIOS TÉCNICOS EMPLEADOS POR MTO.	667
19.11.1 <i>El modelo ideal</i>	667
19.11.2 <i>El cuestionario de la auditoría</i>	667
19.12 LA ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO CORRECTIVO	668
19.12.1 <i>El modelo ideal</i>	668
19.12.2 <i>El cuestionario de la auditoría</i>	669
19.13 LA GESTIÓN DE REPUESTOS Y CONSUMIBLES	670
19.13.1 <i>El modelo ideal</i>	670
19.13.2 <i>El cuestionario de la auditoría</i>	670
19.14 LA GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN	671
19.14.1 <i>El modelo ideal</i>	672

19.14.2	<i>El cuestionario de la auditoría</i>	672
19.15	EL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE MANTENIMIENTO	673
19.15.1	<i>El modelo ideal</i>	673
19.15.2	<i>El cuestionario de la auditoría</i>	674
19.16	CLASIFICACIÓN DE LOS ASPECTOS POR SUS EFECTOS	674
19.17	EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CONFORMIDAD	675
19.17.1	<i>Ponderación de los aspectos</i>	675
19.17.2	<i>Cálculos</i>	676
19.17.3	<i>Cálculo de la incertidumbre</i>	676
19.17.4	<i>Herramientas informáticas para el cálculo del índice</i>	676
19.17.5	<i>Valores de referencia</i>	677
19.18	EL INFORME FINAL	677
19.19	CUESTIONARIO DE LA AUDITORÍA	679
19.19.1	<i>Cuestiones a plantear</i>	679
19.19.2	<i>Automatización de los cálculos</i>	679
19.20	LA REALIZACIÓN PRÁCTICA DE LA AUDITORÍA	687
19.20.1	<i>Fase de preparación</i>	687
19.20.2	<i>Análisis de la documentación</i>	688
19.20.3	<i>Entrevistas con los responsables</i>	688
19.20.4	<i>Trabajo de campo</i>	688
19.20.5	<i>La reunión de cierre</i>	688
19.20.6	<i>La preparación del informe</i>	689
19.20.7	<i>La presentación de informe</i>	689
19.20.8	<i>El seguimiento de las recomendaciones</i>	689
19.20.9	<i>La duración total de una auditoría de mantenimiento</i>	689
19.21	FRECUENCIA DE LA REALIZACIÓN DE AUDITORÍAS	689
19.22	PROBLEMAS HABITUALES DETECTADOS	690

Simulador de Centrales Termoeléctricas



Entrenamiento de Operadores de Planta

RENOVETEC

Paseo del Saler 6, 28945 Fuenlabrada - Madrid

91 126 37 66 - 91 110 40 15



1 LOS OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO

1.1 IDEAS BÁSICAS SOBRE MANTENIMIENTO

Se define habitualmente mantenimiento como el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones industriales en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento.

A lo largo del proceso industrial vivido desde finales del siglo XIX, la función mantenimiento ha pasado diferentes etapas. En los inicios de la revolución industrial, los propios operarios se encargaban de las reparaciones de los equipos. Cuando las máquinas se fueron haciendo más complejas y la dedicación a tareas de reparación aumentaba, empezaron a crearse los primeros departamentos de mantenimiento, con una actividad diferenciada de los operarios de producción. Las tareas en estas dos épocas eran básicamente correctivas, dedicando todo su esfuerzo a solucionar las fallas que se producían en los equipos.

A partir de la Primera Guerra Mundial, de la Segunda y sobre todo tras atravesar una grave crisis energética en el 73, empieza a concebirse el concepto de fiabilidad. La aviación y la industria automovilística lideran esta nueva corriente. Se desarrollan nuevos métodos de trabajo que hacen avanzar las técnicas de mantenimiento en varias vertientes:

- En la robustez del diseño, a prueba de fallos y que minimice las actuaciones de mantenimiento
- En el mantenimiento por condición, como alternativa al mantenimiento sistemático. Aparece el mantenimiento predictivo

- En el análisis de fallos, tanto los que han ocurrido como los que tienen una probabilidad tangible de ocurrir (fallos potenciales). Se desarrolla en Mantenimiento basado en Fiabilidad o RCM. El RCM como estilo de gestión de mantenimiento, se basa en el estudio de los equipos, en análisis de los modos de fallo y en la aplicación de técnicas estadísticas y tecnología de detección. Se podría afirmar que RCM es una filosofía de mantenimiento básicamente tecnológica.
- En el uso de la informática para el manejo de todos los datos que se manejan ahora en mantenimiento: órdenes de trabajo, gestión de las actividades preventivas, gestión de materiales, control de costes, etc. Se busca tratar todos estos datos y convertirlos en información útil para la toma de decisiones. Aparece el concepto de GMAO (**G**estión del **M**antenimiento **A**sistido por **O**rdenador), también denominado GMAC (**G**estión del **M**antenimiento **A**sistido por **C**omputadora) o CMMS (**C**omputerised **M**anagement **M**aintenance **S**ystem).
- En la implicación de toda la organización en el mantenimiento de las instalaciones. Aparece el concepto de TPM, o **M**antenimiento **P**roductivo **T**otal, en el que algunas de las tareas normalmente realizadas por el personal de mantenimiento son ahora realizadas por operarios de producción. Esas tareas 'transferidas' son trabajos de limpieza, lubricación, ajustes, reaprietes de tornillos y pequeñas reparaciones. Se pretende conseguir con ello que el operario de producción se implique más en el cuidado de la máquina, siendo el objetivo último de TPM conseguir *Cero Averías*. Como filosofía de mantenimiento, TPM se basa en la formación, motivación e implicación del equipo humano, en lugar de la tecnología.

Por desgracia, muchas empresas todavía no han sufrido esta evolución en el mantenimiento y siguen ancladas en la oscura prehistoria del mantenimiento moderno. En muchas de ellas sigue siendo la reparación urgente de averías la que dirige la actividad de mantenimiento, es la planta la que dicta lo que debe hacerse y no los profesionales a cargo de la instalación. El porcentaje de empresas que dedican todos sus esfuerzos a mantenimiento correctivo es muy alto. Son muchos los responsables de mantenimiento, tanto de empresas grandes como pequeñas, que creen que la gestión del mantenimiento, la implantación de TPM o RCM, el análisis de fallos potenciales o incluso la simple elaboración de un plan de mantenimiento programado son conceptos muy interesantes en el cam-

po teórico, pero que en la planta que dirigen no son aplicables: parten de la idea de que la urgencia de las reparaciones es la que marca y marcará siempre las pautas a seguir en el departamento de mantenimiento.

Existen una serie de razones por las que una instalación industrial debe plantearse cuál es el mantenimiento óptimo a realizar en ella, es decir, razones por las que debe gestionar su mantenimiento evitando que sea la propia instalación obligue a los técnicos de mantenimiento a realizar intervenciones normalmente no programadas. Estas razones son las siguientes:

- El alto coste que supone en muchos casos la pérdida de producción. Este importe es en muchas ocasiones muy superior al simple coste de reparación o reposición de los elementos dañados.
- Porque la mayoría de las instalación no solo deben estar disponibles mucho tiempo, sino que además deben ser fiables. Eso supone que deben realizarse previsiones sobre la producción y que dichas previsiones se deben cumplir. Es el caso de las centrales eléctricas, de la industrial del automóvil o de las refinerías, donde los compromisos de producción pueden hacer incurrir a la empresa en penalizaciones y sobrecostes realmente inasumibles.
- Porque la seguridad, y las interrelaciones con el medio ambiente son aspectos que han tomado una extraordinaria importancia en la gestión industrial. Es necesario gestionar estos aspectos para incluirlos en las formas de trabajo de los departamentos de mantenimiento.



Fig 1.1 La reparación urgente de averías no puede ser la base del mantenimiento de una instalación industrial

Por todas estas razones, es necesario definir políticas, formas de actuación, es necesario definir objetivos y valorar su cumplimiento, e identificar oportunidades de mejora. En definitiva, es necesario gestionar el mantenimiento, dirigir el departamento con políticas que permitan pensar que se tiene el control de la instalación, y que no es la propia instalación la que impone los resultados, sino que estos se ajustan a unos valores previamente definidos por la dirección de la empresa y de la instalación

1.2 OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO DE UNA INSTALACIÓN INDUSTRIAL

El objetivo fundamental de mantenimiento no es pues reparar urgentemente las averías que surjan. El departamento de mantenimiento de una industrial tiene cuatro objetivos que deben marcar y dirigir su trabajo:

- Cumplir un valor determinado de disponibilidad.
- Cumplir un valor determinado de fiabilidad.
- Asegurar una larga vida útil de la instalación en su conjunto, al menos acorde con el plazo de amortización de la planta.
- Conseguir todo ello ajustándose a un presupuesto dado, normalmente el presupuesto óptimo de mantenimiento para esa instalación.



Fig 1.2 Los objetivos de mantenimiento de una instalación industrial son muy claros y fácilmente medibles

1.2.1 El objetivo de disponibilidad

La disponibilidad de una instalación se define como la proporción del tiempo que dicha instalación ha estado en disposición de producir, con independencia de que finalmente lo haya hecho o no por razones ajenas a su estado técnico.

El objetivo más importante de mantenimiento es asegurar que la instalación estará en disposición de producir un mínimo de horas determinado del año. Es un error pensar que el objetivo de mantenimiento es conseguir la mayor disponibilidad posible (100%) puesto que esto puede llegar a ser muy caro, antirrentable. Conseguir pues el objetivo marcado de disponibilidad con un coste determinado es pues generalmente suficiente.

Como se verá más adelante, la disponibilidad es un indicador que ofrece muchas posibilidad de cálculo y de interpretación. Así, para una central termosolar el objetivo de disponibilidad se centra en las horas en las que la planta recibe radiación directa, y es relativamente intrascendente que la central esté disponible para producir por la noche o en los días de lluvia o nubosidad abundante. La definición de la fórmula de cálculo de la disponibilidad tendrá un papel vital para juzgar si el departamento de mantenimiento de cualquier instalación industrial está realizando su trabajo correctamente o es necesario introducir algún tipo de mejora.

Los principales factores a tener en cuenta en el cálculo de la disponibilidad son los siguientes:

- N° de horas totales de producción.
- N° de horas de indisponibilidad total para producir, que pueden ser debidas a diferentes tipos de actuaciones de mantenimiento:
 - Intervenciones de mantenimiento programado que requieran parada de planta.
 - Intervenciones de mantenimiento correctivo programado que requieran parada de planta o reducción de carga.
 - Intervenciones de mantenimiento correctivo no programado que

detienen la producción de forma inesperada y que por tanto tienen una incidencia en la planificación ya realizada de la producción de energía.

- Número de horas de indisponibilidad parcial, es decir, número de horas que la planta está en disposición para producir pero con una capacidad inferior a la nominal debido al estado deficiente de una parte de la instalación, que impide que ésta trabaje a plena carga.

En cuanto a los valores aceptables de disponibilidad muchos tipos de instalaciones industriales, conseguir objetivos de disponibilidad superiores al 92% de forma sostenida (un año o varios puede obtenerse, pero no de forma continuada) es un objetivo bastante ambiciosos, siempre que se calcule de acuerdo con la fórmula propuesta por la IEEE 762/2006. Las instalaciones industriales suelen buscar objetivos entre ese 92% y un 50%, en los casos menos exigentes en lo que se disponga de una capacidad de producción muy superior a lo que es capaz de absorber el mercado.

Existen muchas fórmulas de cálculo de este indicador que se verán más adelante, en el capítulo dedicado a indicadores de mantenimiento. Es importante destacar que la IEEE desarrolló la norma específica detallada en el párrafo anterior referida a la disponibilidad en una instalación, tratando de evitar interpretaciones parciales que pudieran beneficiar a una alguna parte en beneficio de otra (propietario contratistas, etc.).

1.2.2 El objetivo de fiabilidad

La fiabilidad es un indicador que mide al capacidad de una planta para cumplir su plan de producción previsto. En una instalación industrial se refiere habitualmente al cumplimiento de la producción planificada, y comprometida en general con clientes internos o externos. El incumplimiento de este programa de carga puede llegar a acarrear penalizaciones económicas, y de ahí la importancia de medir este valor y tenerlo en cuenta a la hora de diseñar la gestión del mantenimiento de una instalación.

Los factores a tener en cuenta para el cálculo de este indicador son dos:

- Horas anuales de producción, tal y como se ha detallado en el apartado anterior.
- Horas anuales de parada o reducción de carga debidas exclusivamente a mantenimiento correctivo no programado.

Como puede verse, no se tiene en cuenta para el cálculo de este objetivo ni las horas dedicadas a mantenimiento preventivo programado que supongan parada de planta ni las dedicadas a mantenimiento correctivo programado. Para un cálculo correcto y coherente de este factor debe definirse siempre cual es la distinción entre mantenimiento correctivo programado y no programado. Así, en muchas instalaciones industriales es habitual considerar que una avería detectada pero cuya reparación pueda posponerse 48 horas o más se considera mantenimiento correctivo programado, y por tanto no computa para calcular la fiabilidad. Una intervención que suponga la parada inmediata de la planta o una parada en un plazo inferior a 48 horas se considera mantenimiento correctivo no programado, y por tanto, su duración se tiene en cuenta a la hora de calcular la fiabilidad.

El objetivo de mantenimiento persigue que este parámetro esté siempre por encima de un valor establecido en el diseño técnico-económico de la planta, y su valor es habitualmente muy alto (igual o superior incluso al 98%). Una instalación bien gestionada no debería tener ningún problema para alcanzar este valor.

1.2.3 La vida útil de la planta

El tercer gran objetivo de mantenimiento es asegurar una larga vida útil para la instalación. Es decir, las plantas industriales deben presentar un estado de degradación acorde con lo planificado de manera que ni la disponibilidad ni la fiabilidad ni el coste de mantenimiento se vean fuera de sus objetivos fijados en un largo periodo de tiempo, normalmente acorde con el plazo de amortización de la planta. La esperanza de vida útil para una instalación industrial típica se sitúa habitualmente entre los 20 y los 30 años, en los cuales las prestaciones de la planta y los objetivos de mantenimiento deben estar siempre dentro de unos valores prefijados.

Un mantenimiento mal gestionado, con una baja proporción de horas dedicadas a tareas preventivas, con bajo presupuesto, con falta de me-

dios y de personal y basado en reparaciones provisionales provoca la de-grada rápidamente cualquier instalación industrial. Es característico de plantas mal gestionadas como a pesar de haber transcurrido poco tiempo desde su puesta en marcha inicial el aspecto visual no se corresponde con su juventud (en términos de vida útil).

1.2.4 El cumplimiento del presupuesto

Los objetivos de disponibilidad, fiabilidad y vida útil no pueden conseguirse a cualquier precio. El departamento de mantenimiento debe conseguir los objetivos marcados ajustando sus costes a lo establecido en el presupuesto anual de la planta. Como se ha dicho en el apartado anterior, este presupuesto ha de ser calculado con sumo cuidado, ya que un presupuesto inferior a lo que la instalación requiere empeora irremediablemente los resultados de producción y hace disminuir la vida útil de la instalación; por otro lado, un presupuesto superior a lo que la instalación requiere empeora los resultados de la cuenta de explotación.

Este libro dedicará un capítulo completo al estudio del presupuesto de mantenimiento.



Fig 1.2 Objetivos del departamento de mantenimiento en una instalación industrial

1.3 LA MENTALIDAD DE MANTENIMIENTO A CORTO PLAZO

No hay nada más perjudicial para los intereses económicos de una instalación industrial que una mentalidad cortoplacista de los mandos que dirigen la instalación. Los resultados a corto plazo están a menudo reñidos con los resultados a largo plazo, y decisiones que dan buenos resultados de forma inmediata pueden resultar muy dañinas más adelante.

Así, la ausencia de un mantenimiento preventivo eficaz puede tener un efecto económico inmediato favorable, pero resulta destructivo para la instalación. Lo mismo puede afirmarse sobre las reparaciones provisionales, la carencia de personal, de stock de repuesto, de medios técnicos o de la sustitución de elementos por otros de calidad inferior.

Hay que ver el mantenimiento de una instalación como un depósito. Cuando la instalación es nueva, el depósito está lleno. Si se consume su contenido pero periódicamente se rellena, el depósito no llega a vaciarse nunca, lo que se traduce en que la instalación puede funcionar con un número de incidencias mínimo. Pero si el depósito no se rellena cada cierto tiempo, si no se repone lo que se consume, acaba vaciándose, lo que se traduce en que la instalación sufre paradas frecuentes y envejece de forma prematura.



Fig 1.3 El mantenimiento de una instalación industrial se asemeja a un depósito, que hay que rellenar con la frecuencia adecuada

Así, si se deja de efectuar mantenimiento preventivo a una instalación a corto plazo no sucederá nada. La instalación seguirá funcionando con normalidad e incluso se ahorrará dinero al no tener que realizar intervenciones. Pero en pocos meses la instalación comenzará a mostrar sus primeros síntomas de degradación, y en pocos años de una política continuada de mantenimiento poco adecuado la instalación estará degradada y se habrá convertido en una planta problemática: todo el dinero falsamente ahorrado y mucho más será ahora necesario para devolver la instalación a un grado de fiabilidad aceptable, y deberán realizarse grandes reparaciones y revisiones para ello. Incluso, es posible que la planta ya no vuelva nunca a su estado original.

Las políticas cortoplacistas, en las que solo se analiza el resultado económico inmediato, son pues enormemente inadecuadas para afrontar el mantenimiento de una instalación tecnológicamente compleja como puede llegar a ser una instalación industrial actual.

1.4 POSIBILIDADES PARA AFRONTAR EL MANTENIMIENTO DE UNA INSTALACIÓN INDUSTRIAL

A la hora de decidir entre las posibilidades para afrontar el mantenimiento de una instalación industrial existen al menos dos posibilidades: hacerlo con personal propio o realizarlo basándose en contratistas externas. Cada una de ellas tiene ventajas e inconvenientes que hay que valorar adecuadamente antes de decidir el modelo más adecuado para afrontar las tareas de mantenimiento de la planta.

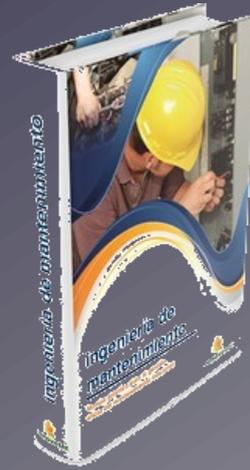
Como se verá más adelante, la tendencia en el mantenimiento de instalaciones industriales de nueva construcción hasta el año 2005 se decantó hacia el máximo de externalización del servicio, pero desde entonces se vive una situación en la que el propietario de la instalación prefiere hacer el mantenimiento con su propio personal, priorizando así el máximo control de lo que sucede en la planta. Se analizan a continuación los esquemas más habituales para afrontar la explotación de una instalación industrial.

Ingeniería de mantenimiento recopila toda la experiencia de RENOVETEC desarrollando e implementando técnicas avanzadas de mantenimiento en diversos tipos de instalaciones industriales.

Distribuido en dos volúmenes, a lo largo de sus más de 600 páginas se aborda la organización de los recursos humanos, la elaboración e implementación de planes de mantenimiento, los requerimientos legales de mantenimiento, las técnicas predictivas, la reparación de sus averías, sus causas y consecuencias y hasta la gestión de la información.

En esta obra RENOVETEC trata de explicar las técnicas que emplea cuando tiene que enfrentarse a determinados trabajos, como la elaboración de planes de mantenimiento de instalaciones industriales o la investigación de fallos.

Al contrario que otras empresas dedicadas al mantenimiento de instalaciones, RENOVETEC revela en esta obra todos sus secretos y técnicas, en el convencimiento de que la transmisión de la información, el hecho de compartir lo que se aprende en el ejercicio de la actividad profesional es lo que ha hecho avanzar el mundo industrial e incluso a la sociedad.



Otras obras técnicas de la EDITORIAL RENOVETEC



CENTRALES TERMOELÉCTRICAS DE BIOMASA

CENTRALES TERMOSOLARES CCP: 4 VOLÚMENES

PERMITTING Y GESTIÓN FINANCIERA DE PROYECTOS ENERGÉTICOS

EL SISTEMA HTF EN CENTRALES TERMOSOLARES

LOS RECURSOS HUMANOS EN CENTRALES ELÉCTRICAS

EL PLAN DE MANTENIMIENTO EN CENTRALES ELÉCTRICAS