

Santiago García Garrido

Pablo Ratia Gomez

Jorge Perea Samper

**OPERACIÓN Y
MANTENIMIENTO DE
CENTRALES DE CICLO
COMBINADO**



Madrid - Buenos Aires - México

© Santiago García Garrido, 2008

Reservados los derechos.

No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.

Ediciones Díaz de Santos

www.diazdesantos.es/ediciones (España)
www.diazdesantos.com.ar (Argentina)

ISBN: 978-84-7978-842-1
Depósito legal: M. 50.034-2007

Fotocomposición: Estefanía Grimoldi
Diseño de Cubierta: Ángel Calvete
Impresión: Fernández Ciudad, S. L.
Encuadernación: Rústica-Hilo. S. L.

Índice

INTRODUCCIÓN	XIX
1. LAS CENTRALES TÉRMICAS DE CICLO COMBINADO	1
2. FUNDAMENTOS TÉCNICOS DE LOS CICLOS COMBINADOS	3
2.1. Visión global	3
2.1.1. Descripción funcional de un ciclo combinado	5
2.1.2. Turbina de gas	7
2.1.3. Caldera recuperadora de calor	8
2.1.4. Turbina de vapor	8
2.1.5. Generador	9
2.2. Turbina de gas	10
2.2.1. La turbina de gas y el ciclo de Brayton	10
2.2.2. Elementos de la turbina de gas	13
2.3. Turbina de vapor	16
2.3.1. El ciclo de Rankine	16
2.3.2. Partes fundamentales de una turbina de vapor	22
2.3.3. La turbina de vapor desde el punto de vista constructivo ..	25
2.3.4. Descripción funcional de la turbina de vapor	25
2.3.5. Eficiencia en turbinas de vapor	27
2.4. Caldera de recuperación	27
2.4.1. Tipos de caldera	27
2.4.2. Descripción funcional de la caldera de recuperación	29

2.5. Ciclo agua-vapor.....	33
2.6. Generador.....	36
2.6.1. Tipos de generadores.....	36
2.6.2. Descripción funcional del generador.....	39
2.7. Sistemas eléctricos.....	40
2.7.1. Sistemas eléctricos de potencia.....	40
2.7.2. Sistemas eléctricos de control.....	41
2.8. Sistema de refrigeración principal.....	42
2.8.1. Refrigeración por captación directa.....	42
2.8.2. Refrigeración por circuito semiabierto (torres de refrigeración).....	43
2.8.3. Refrigeración con aerocondensadores.....	49
2.9. Estación de gas (ERM).....	50
2.10. Planta de tratamiento de agua.....	52
2.10.1. Desalación.....	53
2.10.2. Afino.....	56
2.10.3. Diagrama de bloques del proceso de desmineralización...	57
 3. OPERACIÓN DE CENTRALES DE CICLO COMBINADO.....	 59
3.1. Operación flexible.....	59
3.2. Objetivos clave en la gestión de la operación.....	60
3.3. Puesta en marcha de una central de ciclo combinado.....	61
3.3.1. Descripción del proceso de arranque.....	61
3.3.2. Tipos de arranque.....	64
3.3.3. Problemas habituales en los arranques.....	69
3.4. Variaciones de carga.....	71
3.4.1. Carga Base o máxima carga.....	71
3.4.2. Mínimo técnico.....	72
3.4.3. Variaciones de carga.....	73
3.5. Régimen de operación.....	74
3.5.1. Arranques y paradas diarias.....	74
3.5.2. Arranques y paradas semanales.....	75
3.5.3. Funcionamiento continuo.....	76

3.6. Parada de la central	77
3.6.1. <i>Paradas programadas</i>	77
3.6.2. <i>Paradas de emergencia</i>	78
3.6.3. <i>Paradas prolongadas y precauciones a tener en cuenta..</i>	79
 4. MANTENIMIENTO PROGRAMADO	 81
4.1. Plan de mantenimiento inicial.....	83
4.1.1 <i>Plan de mantenimiento inicial basado en instrucciones del fabricante</i>	83
4.1.2. <i>Plan de mantenimiento inicial basado en instrucciones genéricas</i>	85
4.2. Plan de mantenimiento basado en análisis de fallos (RCM).....	87
4.2.1. <i>¿Que es RCM?</i>	87
4.2.2. <i>Un problema de enfoque: ¿RCM aplicado a equipos críticos o a toda la planta?</i>	88
4.2.3. <i>Fase 0: Listado y codificación de equipos</i>	91
4.2.4. <i>Fase 1: Listado de funciones y sus especificaciones</i>	91
4.2.5. <i>Fase 2: Determinación de fallos funcionales y fallos técnicos</i>	92
4.2.6. <i>Fase 3: Determinación de los modos de fallo</i>	94
4.2.7. <i>Fase 4: Estudio de las consecuencias de los fallos. Criticidad</i>	95
4.2.8. <i>Fase 5: Determinación de medidas preventivas</i>	98
4.2.9. <i>Fase 6: Agrupación de medidas preventivas</i>	104
4.2.10. <i>Fase 7: Puesta en marcha</i>	105
4.2.11. <i>Diferencias entre el plan de mantenimiento inicial y RCM</i>	106
4.2.12. <i>Agrupación en gamas de mantenimiento</i>	107
4.3. Ejemplo de estructura del plan de mantenimiento	109
4.3.1. <i>Descomposición de la planta en sistemas</i>	109
4.3.2. <i>División por especialidades</i>	110
4.3.3. <i>Frecuencias</i>	110
4.4. Puesta en marcha del plan.....	114
4.5. Procedimientos de realización de gamas de mantenimiento.....	115
4.6. Informes tras la realización de gamas	115
4.7. Planificación del mantenimiento programado	115
4.8. Errores habituales en la preparación de planes de mantenimiento .	116

4.8.1. Recomendaciones de los fabricantes.....	116
4.8.2. Planes de mantenimiento orientados a equipos.....	117
4.8.3. Asignación a operaciones de las tareas diarias	118
4.8.4. Registro de resultados de inspecciones diarias y semanales.....	118
4.9. Mantenimiento predictivo (o mantenimiento según condición) ..	118
4.9.1. Inspecciones visuales y lectura de indicadores	121
4.9.2. Inspecciones boroscópicas.....	121
4.9.3. Análisis de vibraciones	122
4.9.4. Análisis de aceites.....	123
4.9.5. Termografía Infrarroja.....	129
4.10. Grandes revisiones o paradas	133
4.10.1. La regla de oro de la parada	135
4.10.2. Razones de los retrasos.....	136
4.10.3. La clave: el camino crítico	138
4.10.4. La preparación del trabajo	139
4.10.5. El enlace entre tareas.....	140
4.10.6. Los trabajos en paralelo	141
4.10.7. Los remates	141
4.10.8. Las pruebas.....	142
4.10.9. Conclusiones	142
4.11. Principales actividades de mantenimiento programado en una CTCC	142
4.11.1. Turbina de gas.....	142
4.11.2. Turbina de vapor.....	144
4.11.3. Generador.....	145
4.11.4. Sistemas eléctricos de Alta Tensión	146
4.11.5. Sistema de refrigeración	146
4.11.6. Estación de gas o ERM.....	147
4.11.7. Caldera	148
4.11.8. Ciclo agua-vapor	150
4.12. La gestión de la información: programas informáticos.....	150
4.12.1. Objetivos buscados en la informatización del mantenimiento.....	151
4.12.2. Proceso de implantación.....	154
5. MANTENIMIENTO CORRECTIVO	157
5.1. Distribución del tiempo en la resolución de un fallo	158

5.2. Asignación de prioridades.....	160
5.3. Listas de averías: ayudas al diagnóstico	163
5.4. Causas de fallos.....	165
5.4.1. <i>Fallos en el material</i>	166
5.4.2. <i>Error humano del personal de producción</i>	166
5.4.3. <i>Errores del personal de mantenimiento</i>	167
5.4.4. <i>Condiciones externas anómalas</i>	167
5.5. Análisis de fallos y medidas preventivas	168
5.6. Repuestos	174
5.6.1. <i>Tipos de repuesto</i>	174
5.6.2. <i>Criterios de selección</i>	174
5.6.3. <i>Consumibles (Repuesto tipo C)</i>	176
5.6.4. <i>Material estándar habitual</i>	177
5.6.5. <i>Recomendaciones del fabricante</i>	177
5.6.6. <i>Inventarios</i>	178
5.7. Fallos habituales en centrales de ciclo combinado	178
5.7.1. <i>Fallos en la turbina de gas</i>	179
5.7.2. <i>Turbina de vapor</i>	179
5.7.3. <i>Fallos en caldera</i>	179
5.7.4. <i>Fallos en el ciclo agua-vapor</i>	180
5.7.5. <i>Fallo en el sistema de agua de refrigeración</i>	180
5.7.6. <i>La estación de gas (ERM)</i>	181
5.7.7. <i>El generador</i>	182
5.7.8. <i>Sistemas eléctricos</i>	182
6. CONTROL QUÍMICO DE AGUAS DE CALDERA Y DE REFRIGERACIÓN.....	183
6.1. La importancia del control químico	183
6.2. Control químico en aguas del ciclo agua-vapor.....	184
6.2.1. <i>Parámetros químicos del ciclo agua-vapor</i>	185
6.2.2. <i>El control del oxígeno disuelto</i>	187
6.2.3. <i>El control del pH</i>	188
6.2.4. <i>El control del contenido en sales</i>	189
6.3. Control químico en aguas de refrigeración.....	189
6.3.1. <i>Parámetros químicos</i>	190

6.3.2. <i>El control del pH y las sales disueltas. Corrosión e incrustaciones.....</i>	191
6.3.3. <i>El control de las especies biológicas en el agua de refrigeración.....</i>	193
6.3.4. <i>Otras acciones para la protección de circuitos de refrigeración</i>	194
6.4. La refrigeración de equipos auxiliares.....	194
 7. LOS RECURSOS HUMANOS EN UNA CENTRAL DE CICLO COMBINADO.....	195
7.1. Personal de operación	195
7.1.1. <i>Descripción de puestos en operación.....</i>	195
7.1.2. <i>Organigrama de operaciones.....</i>	197
7.2. Organización del personal de mantenimiento.....	199
7.2.1. <i>Descripción de puestos de mantenimiento.....</i>	199
7.2.2. <i>Factores a tener en cuenta al diseñar el organigrama de mantenimiento.....</i>	202
7.2.3. <i>Organigramas posibles en mantenimiento.....</i>	204
7.3. Calidad, seguridad y medioambiente.....	207
7.4. Personal administrativo.....	208
7.5. Organigrama completo.....	208
7.6. Flexibilidad y polivalencia.....	213
7.6.1. <i>Ventajas e inconvenientes de la especialización</i>	213
7.6.2. <i>El fomento de la polivalencia. La polivalencia como táctica para la optimización.....</i>	214
7.7. Plan de formación	215
7.7.1. <i>Objetivos buscados en la formación del personal</i>	216
7.7.2. <i>Plan de formación inicial.....</i>	217
7.7.3. <i>Nuevas incorporaciones. Formación de acogida</i>	217
7.7.4. <i>Plan de formación continuo</i>	220
7.7.5. <i>Documentando el plan de formación</i>	223
7.8. La motivación	224
7.8.1. <i>Hechos que motivan al personal altamente cualificado...</i>	224
7.8.2. <i>Algunas formas de motivar al personal de mantenimiento..</i>	225

7.8.3. <i>Hechos que desmotivan al personal</i>	225
7.8.4. <i>Qué hacer ante un operario desmotivado</i>	226
 8. AUDITORÍAS TÉCNICAS. ESTADO DE LAS INSTALACIONES ..	229
8.1. Turbina de gas.....	232
8.1.1. <i>Pruebas funcionales</i>	232
8.1.2. <i>Inspecciones técnicas</i>	233
8.2. Turbina de vapor.....	234
8.2.1. <i>Pruebas funcionales</i>	234
8.2.2. <i>Inspecciones técnicas</i>	235
8.3. Caldera.....	236
8.3.1. <i>Pruebas funcionales</i>	236
8.3.2. <i>Inspecciones técnicas</i>	238
8.4. Ciclo agua-vapor.....	239
8.4.1. <i>Pruebas funcionales</i>	239
8.4.2. <i>Inspecciones técnicas</i>	240
8.5. Estación de gas o ERM.....	240
8.5.1. <i>Pruebas funcionales</i>	240
8.5.2. <i>Inspecciones técnicas</i>	241
8.6. Sistema de refrigeración.....	242
8.6.1. <i>Pruebas funcionales</i>	242
8.6.2. <i>Inspecciones técnicas</i>	243
8.7. Generador.....	244
8.7.1. <i>Inspecciones técnicas</i>	244
8.8. Sistemas eléctricos de evacuación de energía.....	248
8.8.1. <i>Pruebas funcionales</i>	248
8.8.2. <i>Inspecciones técnicas</i>	249
 9. PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES.....	251
9.1. Principales riesgos en una CTCC.....	251
9.1.1. <i>Caída de personas a distinto nivel</i>	251
9.1.2. <i>Caída de personas al mismo nivel</i>	252

9.1.3. Caídas de objetos por manipulación	252
9.1.4. Golpes y cortes por objetos o herramientas	253
9.1.5. Atrapamientos por o entre objetos.....	253
9.1.6. Atrapamientos por volcado de máquinas	254
9.1.7. Sobreesfuerzos	254
9.1.8. Contactos térmicos.....	254
9.1.9. Contactos eléctricos directos	255
9.1.10. Contactos eléctricos indirectos.....	255
9.1.11. Inhalación o ingestión de sustancias nocivas.....	256
9.1.12. Asfixias por gases.....	256
9.1.13. Contactos con sustancias caústicas y/o corrosivas	256
9.1.14. Atropellos, golpes y choques con o contra vehículos	257
9.1.15. Agentes físicos (ruidos, vibraciones...)	257
9.2. Los permisos de trabajo	258
9.3. Procedimientos de trabajo.....	259
9.4. Equipos de protección individual.....	259
9.5. Investigación de accidentes e incidentes.....	261
9.6. Indicadores de nivel de accidentalidad	262
9.7. Accidentes más frecuentes.....	263
9.8. Situaciones y planes de emergencia.....	264
 10. EL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LAS CENTRALES DE CICLO COMBINADO	 267
10.1. Emisiones atmosféricas.....	268
10.1.1. CO ₂	268
10.1.2. CO	269
10.1.3. SO ₂ y NO _x	269
10.1.4. Partículas sólidas.....	270
10.1.5. Vapor de agua.....	270
10.2. El control de las emisiones atmosféricas	271
10.3. Vertidos	271
10.3.1. Aguas de refrigeración.....	272
10.3.2. Aguas de proceso.....	274
10.3.3. Aguas de lluvia.....	275
10.3.4. Otras aguas de diferentes procesos ocasionales.....	276

10.4. El control de vertidos	276
10.5. Ruido	277
10.6. Residuos tóxicos y peligrosos	279
10.6.1. Aceites usados	279
10.6.2. Envases de productos químicos.....	280
10.6.3. Filtros de aire de entrada a turbina de gas.....	280
10.7. Otros residuos sólidos no tóxicos	280
10.8. Accidentes, situaciones especiales y riesgos medioambientales	280
10.8.1. Vertidos de combustible auxiliar	281
10.8.2. Roturas de tuberías de aguas de refrigeración	281
10.8.3. Derrames de aceites	282
10.8.4. Funcionamiento deficiente de depuradoras	283
10.8.5. Derrames de ácido sulfúrico	283
10.8.6. Derrames de otros productos químicos.....	283
10.8.7. Combustión inadecuada en turbina de gas	283
10.8.8. Fugas de metano	284
10.8.9. Soplado de tuberías de caldera.....	284
 11. CALIDAD: AUDITORÍAS DE GESTIÓN	 285
11.1. Más allá de la ISO 9000	285
11.2. Áreas de gestión.....	286
11.3. La operación de la planta	287
11.4. Mantenimiento	295
11.5. El control químico.....	305
11.6. Prevención de riesgos laborales	309
11.7. Gestión medioambiental	313
11.8. Administración.....	316
11.9. Cuestionario	319
11.10. El informe final.....	320
 12. BIBLIOGRAFÍA.....	 325

INTRODUCCIÓN

La era de los ciclos combinados

En el año 2002 con el arranque de la primera central de ciclo combinado en España, en la localidad gaditana de San Roque, se inauguró una nueva era en la producción de energía eléctrica a gran escala.

España llegaba algo tarde a esta tecnología, que ya funcionaba en Estados Unidos, varios países de América Latina y en los países más pioneros de Asia. Cuatro fabricantes de turbinas (Alstom, General Electric, Siemens y Mitsubishi) habían desarrollado máquinas de gran potencia (hasta 260 MW) y habían desarrollado la disposición en ciclo combinado, esto es, el aprovechamiento de la energía contenida en los humos de escape de la turbina de gas en una caldera de recuperación; el vapor allí producido hace girar una turbina de vapor, de tecnología mucho más conocida, obteniéndose en el conjunto rendimientos elevados (cercaos al 60%) y grupos ‘modulares’ de unos 400 MW de potencia, que podían sumarse entre si hasta alcanzar la potencia deseada (casi todas las centrales actuales tienen entre 1 y 4 grupos, siendo la combinación de 2 grupos con una potencia de 800 MW totales la más habitual).

Todos los fabricantes habían tenido problemas con su tecnología, debido sobre todo a las altas temperaturas existentes en la cámara de combustión y en las primeras etapas de álabes de la turbina. Poco a poco todos los problemas técnicos se han ido superando siendo las máquinas actuales fiables y competitivas.

Y no es que la tecnología de los ciclos combinados fuera nueva o novedosa en 2002. Ya se empleaba profusamente en las plantas de cogeneración, con potencias menores. La novedad fue la decidida apuesta de gobiernos y promotores por esta tecnología en detrimento de otras opciones.

La producción de energía a gran escala lleva siempre acarreados una serie de inconvenientes. Producir 5 KW para el autoconsumo es una cosa a caballo entre lo práctico y lo idílico, pero producir 400, 800, 1200 MW en un solo punto tiene inconvenientes sea cual sea la tecnología empleada. Si se produce con centrales nucleares, los riesgos y los residuos pesan mucho para tomar la decisión. Si se hace en centrales térmicas de carbón, la contaminación provocada por los contenidos en SO₂ o NO_x de las emisiones provocan la alarma de las autoridades

medioambientales y de la población concienciada. Si se trata de producir con saltos hidráulicos, la construcción de grandes presas y su impacto en el medio es tremendo. Si se produce con aerogeneradores, el número necesario para alcanzar esa potencia de generación llega a ser muy elevado, con un impacto visual nada desdeñable. Si se produce con centrales de ciclo combinado, también hay inconvenientes con los que hay que convivir: emisiones de CO₂, vertidos y, sobre todo, dependencia energética de otros países cuya inestabilidad política o social puede llegar a ser preocupante.

España apostó hace unos años por un mix energético basado en centrales de ciclo combinado + energías renovables (hidráulica, eólica, solar y biomasa), con el apoyo de la energía nuclear existente y las centrales de carbón, que habían sido la base energética hasta ese momento, y la potenciación en 2007 de las plantas de cogeneración. En esa decisión pesó sobre todo la sensibilización de la población en general en material medioambiental, que no aceptaría con facilidad la instalación de nuevas plantas de energía nuclear o plantas térmicas más contaminantes, y la posibilidad de rentabilidad para las empresas promotoras, que realmente fueron osadas al apostar por una energía cuya tecnología estaba en pleno desarrollo y donde ya empezaban a aparecer los primeros problemas técnicos.

Porque ¿son realmente rentables para los promotores las centrales de ciclo combinado?

El precio del barril de petróleo y las centrales de ciclo combinado

Con el precio del barril de petróleo a máximos históricos, a precios inconcebibles hace solo cinco años, puede ser interesante hacer algunas reflexiones sobre la rentabilidad de los ciclos combinados que se están construyendo en España y las consecuencias de la subida del precio del petróleo.

En primer lugar, mostremos las cartas que tenemos que barajar de forma objetiva. Petróleo y gas son combustibles alternativos para la producción de energía eléctrica y por tanto su precio está ligado. Si el petróleo sube, el gas será mas atractivo para la producción de energía. Por tanto un aumento del coste del barril de petróleo, aunque tenga poca influencia en el precio de la energía eléctrica, hará aumentar el consumo del gas con el consiguiente aumento de la demanda y del precio. Gas y petróleo son bienes sustitutivos para la producción de energía eléctrica y por tanto sus precios siempre se correlacionaran. Por si esto no fuera suficiente, al aumento del precio del gas debido a la demanda hay que sumar un factor mucho más importante: el precio del gas va indexado al precio del petróleo. Si sube el petróleo subirá el gas aunque no aumente la demanda.

Cito textualmente (en inglés) un artículo de *Bechtel* -la empresa de ingeniería y construcción más importante del mundo en cuestiones energéticas-. Y a *Bechtel* le da igual proyectar nucleares, térmicas convencionales o ciclos combinados:

“With the current price of gas at \$6.65 per GJ in the US, CC plants are uneconomical. This is the main reason why many of the existing CC plants in the US are not operating except for peak loads situations”*

Aunque el precio del gas puede ser muy variable, podríamos estimar que el precio medio del combustible usado en un ciclo combinado se situaba, antes de la espectacular galopada del precio del petróleo vivida en 2004, en torno a los 2,5 a 3 c€ por kwh generado. A este precio hay que sumarle los gastos de operación y mantenimiento de la central (entre 0,3 y 0,6 c€/kwh), las amortizaciones (un ciclo combinado de 400 Mw de potencia cuesta alrededor de 200 millones de Euros y tiene una vida útil estimada en 30 años) y los impuestos.

Por otro lado, el precio del pool eléctrico (mercado mayorista de generación) es variable y se situaba en España en 2007 a lo largo del día entre los 2 c€ y los 6 c€, dependiendo fundamentalmente de las condiciones meteorológicas (mucho frío o mucho calor hacen subir la demanda y por tanto el precio del pool; temperaturas suaves, en cambio, lo hacen bajar), la cantidad de agua embalsada (con un coste de generación muy bajo, que arrastra el precio del *pool* hacia abajo) y el viento suplante (las enormes inversiones realizadas en energía eólica hacen que la energía eléctrica generada con aeroturbinas ya no sea una energía residual, sino que afecte al precio diario de la energía). La media de precio del pool eléctrico entre 2003 y 2007 entre los 3 y los 4 c€.

En estas condiciones, ¿es posible rentabilizar un ciclo combinado si el precio del petróleo continua su escalada, teniendo en cuenta que los gobiernos tratarán de limitar el precio de venta de la energía para afectar lo menos posible a su inflación? Es indudable que los gobiernos y las empresas tendrán que buscar fórmulas para rentabilizar estas plantas, que cada día ganan peso en el mix de generación.

* Con el precio actual del gas a 6,65 \$ por GJ en los EE UU, las plantas de ciclo combinado no son rentables. Esta es la razón principal de que muchas de las plantas de ciclo combinado existentes en EE UU no estén operando, excepto para abastecer picos de demanda.

1. ¿Cuáles son las funciones y los estándares de funcionamiento en cada sistema?
2. ¿Cómo falla cada equipo?
3. ¿Cuál es la causa de cada fallo?
4. ¿Qué consecuencias tiene cada fallo?
5. ¿Cómo puede evitarse cada fallo?
6. ¿Qué debe hacerse si no es posible evitar un fallo?

El proceso atraviesa una serie de fases para cada uno de los sistemas en que puede descomponerse la planta:

- Fase 0: Codificación y listado de todos los subsistemas, equipos y elementos que componen el sistema que se está estudiando. Recopilación de esquemas, diagramas funcionales, diagramas lógicos, etc.
- Fase 1: Estudio detallado del funcionamiento del sistema. Listado de funciones del sistema en su conjunto. Listado de funciones de cada subsistema y de cada equipo significativo integrado en cada subsistema.
- Fase 2: Determinación de los fallos funcionales y fallos técnicos.
- Fase 3: Determinación de los modos de fallo o causas de cada uno de los fallos encontrados en la fase anterior.
- Fase 4: Estudio de las consecuencias de cada modo de fallo. Clasificación de los fallos en críticos, importantes o tolerables en función de esas consecuencias.
- Fase 5: Determinación de medidas preventivas que eviten o atenúen los efectos de los fallos.
- Fase 6: Agrupación de las medidas preventivas en sus diferentes categorías: elaboración del plan de mantenimiento, lista de mejoras, planes de formación y procedimientos de operación y de mantenimiento.
- Fase 7: Puesta en marcha de las medidas preventivas.

4.2.2. Un problema de enfoque: ¿RCM aplicado a equipos críticos o a toda la planta?

Como se ha dicho, RCM es una técnica que originalmente nació en el sector de la aviación. El principal objetivo era asegurar que un avión no fallase en

pleno vuelo, pues no hay posibilidad de efectuar una reparación si se produce un fallo a, por ejemplo, 10.000 metros de altura. El segundo objetivo, casi tan importante como el primero, fue asegurar esa fiabilidad al mínimo coste posible, pues resultaba económicamente inviable un mantenimiento que basaba la fiabilidad de la instalación (el avión) en la sustitución periódica de todos sus componentes.

Es importante recordar que esta técnica se aplica a todo el avión, no sólo a un equipo en particular. Es el conjunto el que no debe fallar, y no alguno de sus elementos individuales, por muy importantes que sean. RCM se aplica a los motores, pero también se aplica al tren de aterrizaje, a las alas, a la instrumentación, al fuselaje, etc.

La mayor parte de las industrias que aplican RCM, sin embargo, no lo aplican a toda la instalación. En general, seleccionan una serie de equipos, denominados ‘equipos críticos’, y tratan de asegurar que estos equipos no fallen.

El estudio de fallos de cada uno de estos equipos se hace con un grado de profundidad tan elevado que por cada equipo se identifican cientos (sino miles) de modos de fallo potenciales, y para el estudio de cada equipo crítico se emplean meses, incluso años.

Pero, ¿qué ocurre con el resto de los equipos? El mantenimiento del resto se elabora atendiendo a las recomendaciones de los fabricantes y a la experiencia de los técnicos y responsables de mantenimiento. En el mejor de los casos, sólo se estudian sus fallos y sus formas de prevenirlos después de que éstos se produzcan, cuando se analizan las averías sufridas en la instalación, y se hace poca cosa por adelantarse a ellas.

Cuando tras meses o años de implantación del RCM se observan los logros obtenidos y la cantidad de dinero y recursos empleados para conseguirlos, el resultado suele ser desalentador: un avance muy pequeño, los problemas reales de la planta no se han identificado, el RCM no ha contribuido a aumentar la fiabilidad o la disponibilidad de la planta, y los costes de mantenimiento, teniendo en cuenta la cantidad de dinero invertida en estudio de fallos, han aumentado. Pasarán muchos años antes de obtener algún resultado positivo. Lo más probable es que se abandone el proyecto mucho antes, ante la ausencia de resultados.

Es posible que esa forma de plantear el trabajo, dirigir el RCM a los equipos críticos, pudiera ser correcta en determinadas plantas, pero es dudosamente viable en una central de ciclo combinado. La instalación puede pararse, incluso por periodos prolongados de tiempo, por equipos o elementos que no suelen pertenecer a esa categoría de equipos críticos. Es el caso de una tubería, o de una válvula sencilla, o un instrumento. Estamos acostumbrados a pensar en equipos críticos como equipos grandes, significativos, y a veces olvidamos que un sim-

ple tornillo puede parar una planta, con la consiguiente pérdida de producción y los costes de arranque asociados.

Porque no son los equipos los que son críticos, sino los fallos. Un equipo no es crítico en sí mismo, sino que su posible criticidad está en función de los fallos que pueda tener. Considerar un equipo crítico no aporta, además, ninguna información que condicione un planteamiento acerca de su mantenimiento. Si por ser crítico debemos realizar un mantenimiento muy exhaustivo, puede resultar que estemos malgastando esfuerzo y dinero en prevenir fallos de un presunto equipo crítico que sean perfectamente asumibles. Repetimos, pues, que es la clasificación de los fallos en críticos o no-críticos lo que nos aporta información útil para tomar decisiones, y no la clasificación de los equipos en sí mismos.

Por tanto, ¿debemos dirigir el mantenimiento centrado en fiabilidad a un conjunto reducido de equipos o a toda la planta? La respuesta, después de todo lo comentado, es obvia: debemos dirigirlo a toda la planta. Debemos identificar los posibles fallos en toda la planta, clasificar estos fallos según su criticidad, y adoptar medidas preventivas que los eviten o minimicen sus efectos, y cuyo coste sea proporcional a su importancia y al coste de su resolución (coste global, no sólo coste de reparación).

De esta forma, antes de comenzar el trabajo, es necesario planificarlo de forma que se asegure que el estudio de fallos va a abarcar la totalidad de la instalación.

Una buena idea es dividir la planta en los sistemas principales que la componen, y estudiar cada uno de ellos con el nivel de profundidad adecuado. Estudiar cada sistema con una profundidad excesiva acabará sobrecargando de trabajo a los responsables del estudio, por lo que los resultados visibles se retrasarán, y se corre el riesgo nuevamente de hacerlo inviable. En los siguientes apartados se detalla cuál es la profundidad adecuada con la que puede abordarse el estudio de fallos en cada sistema.

Por ejemplo, los sistemas principales en que podría dividirse una central térmica de ciclo combinado podrían ser los siguientes:

- Turbina de gas.
- Turbina de vapor.
- Generador.
- Refrigeración.
- Planta de tratamiento de agua.
- Alta tensión.
- Estación de gas.

- Caldera y ciclo agua-vapor.
- Sistema contraincendios.
- Edificios y obra civil.

Dividida la planta en esos diez sistemas principales, y acordado hasta qué nivel se van a estudiar los fallos, es fácil y asequible extender el estudio de fallos a toda la planta. Una vez dividida y determinados los límites de cada uno de estos sistemas, puede comenzarse aplicando las fases que se describen a continuación a cada uno de ellos.

4.2.3. Fase 0: Listado y codificación de equipos

Es la fase más rápida en una central térmica, pues casi todas ellas han adoptado un sistema de codificación estándar denominado KKS⁹, y todos los elementos que integran la planta tienen su correspondiente código. Ni siquiera se considera una fase en sí misma, ya que con seguridad todas las plantas tienen esta codificación realizada. Por supuesto, en caso de que la planta no tuviera codificados los elementos que la integran, habría que empezar por realizar este trabajo.

4.2.4. Fase 1: Listado de funciones y sus especificaciones

Completar esta fase significa detallar todas las funciones que tiene el sistema que se está estudiando, cuantificando cuando sea posible cómo se lleva a cabo esa función (especificación a alcanzar por el sistema).

Por ejemplo, si analizamos una caldera, su función es producir vapor en unas condiciones de presión, temperatura y composición determinadas, y con un caudal dentro de un rango concreto. Si no se alcanzan los valores correctos, entenderemos que el sistema no está cumpliendo su función, no está funcionando correctamente, y diremos que tiene un ‘fallo’.

Para que el sistema cumpla su función cada uno de los subsistemas en que se subdivide deben cumplir la suya. Para ello, será necesario listar también las funciones de cada uno de los subsistemas.

Por último, cada uno de los subsistemas está compuesto por una serie de equipos. Posiblemente fuera conveniente detallar la función de cada uno de estos equipos y elementos, por muy pequeños que sean, pero esto haría que el trabajo fuera interminable, y que los recursos que deberíamos asignar para la

⁹ KKS: Krafwerk Kennzeichen System, un sistema de identificación y clasificación de equipos y componentes en plantas de proceso.

realización de este estudio fueran tan grandes que lo harían inviable. Por ello, nos conformaremos con detallar las funciones de unos pocos equipos, que denominaremos ‘equipos significativos’.

Tendremos, pues, tres listados de funciones:

- Las funciones del sistema en su conjunto.
- Las funciones de cada uno de los subsistemas que lo componen.
- Las funciones de cada uno de los equipos significativos de cada subsistema.

4.2.5. Fase 2: Determinación de fallos funcionales y fallos técnicos

Un fallo es la incapacidad de un ítem para cumplir alguna de sus funciones. Por ello, si realizamos correctamente el apartado anterior, es muy fácil determinar los fallos: tendremos un posible fallo por cada función que tenga el ítem (sistema, subsistema o equipo).

Puede ser conveniente hacer una distinción entre fallos funcionales y fallos técnicos. Definiremos como fallo funcional aquel fallo que impide al sistema en su conjunto cumplir su función principal. Naturalmente, son los más importantes. Veamos un ejemplo.

Un sistema de refrigeración, para cumplir su función, necesita cumplir una serie de especificaciones. Las más importantes son: caudal de agua de refrigeración, temperatura, presión y composición química.

Un fallo funcional del sistema de refrigeración puede ser:

Caudal insuficiente de agua de refrigeración

Será un fallo funcional porque con un caudal insuficiente es imposible que el sistema de refrigeración pueda cumplir su función, que es refrigerar. La planta probablemente parará o verá disminuida su capacidad por este motivo.

Los fallos técnicos afectan tanto a sistemas como a subsistemas o equipos. Un fallo técnico es el que, aunque no impide al sistema cumplir su función, supone un funcionamiento anormal de una parte de éste.

Estos fallos, aunque de una importancia menor que los fallos funcionales, suponen funcionamientos anormales que pueden suponer una degradación acelerada del equipo y acabar convirtiéndose en fallos funcionales del sistema.

La fuentes de información para determinar los fallos (y los modos de fallo que veremos en el apartado siguiente) son muy diversas. Entre las principales podemos citar las siguientes:

- ***Histórico de averías***

El histórico de averías es una fuente de información valiosísima a la hora de determinar los fallos potenciales de una instalación. El estudio del comportamiento de una instalación, equipo o sistema a través de los documentos en los que se registran las averías e incidencias que pueda haber sufrido en el pasado nos aporta una información esencial para la identificación de fallos.

En algunas plantas no existe un archivo histórico de averías suficientemente fiable, un archivo en el que se hayan registrado de forma sistemática cada una de las averías que haya tenido cada equipo en un periodo determinado. Pero con algo de imaginación, siempre es posible buscar una fuente que nos permita estudiar el historial del equipo:

- Estudio de los partes de trabajo, de averías, etc. Agrupando los partes de trabajo por equipos es posible deducir las incidencias que han afectado a la máquina en un periodo determinado.
- Facturas de repuesto. Es laborioso, pero en caso de necesitarse, puede recurrirse al departamento de contabilidad para que facilite las facturas del material consumido en mantenimiento en un periodo determinado (preferiblemente largo, cinco años por ejemplo). De esta información es posible deducir las incidencias que han podido afectar al equipo que se estudia.
- Diarios de incidencias. El personal a turnos utiliza en ocasiones diarios en los que refleja los incidentes sufridos, como medio para comunicárselos al turno siguiente. Del estudio de estos diarios también es posible obtener información sobre averías e incidentes en los equipos.

En otras plantas, la experiencia acumulada todavía es pequeña. Hay que recordar que las plantas de ciclo combinado suponen el empleo de una tecnología relativamente nueva, y es posible que la planta objeto de estudio lleve poco tiempo en servicio.

- ***Personal de mantenimiento***

Siempre es conveniente conversar con cada uno de los miembros que componen la plantilla, para que den su opinión sobre los incidentes más habituales

y las formas de evitarlos. Esta consulta ayudará, además, a que el personal de mantenimiento se implique en el RCM. Como veremos en el apartado correspondiente, la falta de implicación del personal de mantenimiento será una dificultad para la puesta en marcha del plan de mantenimiento resultante.

- ***Personal de operaciones***

Igual que en el apartado anterior, la consulta al personal de operaciones nos ayudará a identificar los fallos que más interfieren en la operación de la planta.

- ***Diagramas lógicos y diagramas funcionales***

Estos diagramas suelen contener información valiosa, incluso fundamental, para determinar las causas que pueden hacer que un equipo o un sistema se detenga o que se disparen sus alarmas. Los equipos suelen estar protegidos contra determinados fallos, bien mostrando una alarma como aviso del funcionamiento incorrecto, bien deteniéndolos o impidiendo que se pongan en marcha si no se cumplen determinadas condiciones. El estudio de la lógica implementada en el sistema de control puede indicarnos posibles problemas que pudiera tener la instalación.

4.2.6. Fase 3: Determinación de los modos de fallo

Una vez determinados todos los fallos que puede presentar un sistema, un subsistema o uno de los equipos significativos que lo componen, deben estudiarse los modos de fallo. Podríamos definir ‘modo de fallo’ como la causa primaria de un fallo, o como las circunstancias que acompañan un fallo concreto.

Supongamos el sistema ‘circuito agua-vapor’ y el subsistema ‘agua de alimentación’. Uno de los fallos que puede presentar es el siguiente:

El nivel del tanque de agua de alimentación es bajo

Los modos de fallo, o las causas que pueden hacer que ese nivel sea bajo pueden ser las siguientes:

- Las bombas de condensado no impulsan agua desde el condensador.
- La tubería que conduce el agua desde las bombas de condensado está obstruida.

- La tubería que conduce el agua desde las bombas de condensado tiene una rotura.
- Válvula de recirculación de las bombas del condensador está totalmente abierta.
- Fuga importante en la caldera, en alguno de los circuitos (alta, media o baja presión).
- Fuga o rotura en el cuerpo del tanque de agua de alimentación.
- Fuga o rotura en la tubería de salida del tanque hacia las bombas de alta, media o baja presión.
- Válvula de drenaje abierta o en mal estado.
- El sistema de control de nivel no funciona correctamente.

Cada fallo, funcional o técnico, puede presentar, como vemos, múltiples modos de fallo. Cada modo de fallo puede tener a su vez múltiples causas, y éstas a su vez otras causas, hasta llegar a lo que se denomina ‘causas raíces’.

No obstante, la experiencia demuestra que si se trata de hacer un estudio tan exhaustivo, los recursos necesarios son excesivos. El análisis termina abandonándose con pocos avances, se bloquea.

Por tanto, es importante definir con qué grado de profundidad se van a estudiar los modos de fallo, de forma que el estudio sea abordable, sea técnicamente factible.

Es aconsejable estudiar modos de fallo y causas primarias de estos fallos, y no seguir profundizando. De esta forma, perderemos una parte de la información valiosa, pero a cambio, lograremos realizar el análisis de fallos de toda la instalación con unos recursos razonables y en un tiempo también razonable. Recordemos que, según Pareto, el 20% de las causas son responsables del 80% de los problemas.

Con la lista de los posibles modos de fallo de cada uno de los identificados anteriormente, estaremos en disposición de abordar el siguiente punto: el estudio de la criticidad de cada fallo.

4.2.7. Fase 4: Estudio de las consecuencias de los fallos. Criticidad

El siguiente paso es determinar los efectos de cada modo de fallo y, una vez determinados, clasificarlos según la gravedad de las consecuencias.

La primera pregunta a responder en cada modo de fallo es, pues: ¿qué pasa si ocurre? Una sencilla explicación de lo que sucederá será suficiente. A partir de esta explicación, estaremos en condiciones de valorar sus consecuencias para la seguridad y el medio ambiente, para la producción y para el mantenimiento.

Consideraremos tres posibles casos: que el fallo sea *crítico*, que el fallo sea *importante* o que sea *tolerable*.

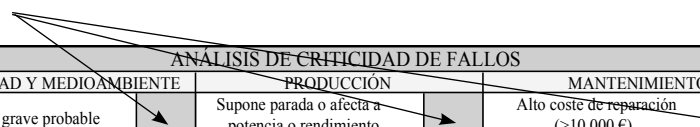
En lo referente a la seguridad y al impacto medioambiental del fallo, consideraremos que el fallo es crítico si existen ciertas posibilidades de que pueda ocurrir, y ocasionaría un accidente grave, bien para la seguridad de las personas o bien para el medioambiente. Consideraremos que es importante si, aunque las consecuencias para la seguridad y el medioambiente fueran graves, la probabilidad de que ocurra el fallo es baja. Por último, consideraremos que el fallo es tolerable si el fallo tiene poca influencia en estos dos aspectos.

En cuanto a la producción, podemos decir que un fallo es crítico si el fallo supone una parada de planta, una disminución de la potencia neta o del rendimiento, y además, existe cierta probabilidad de que el fallo pudiera ocurrir. Si la posibilidad es muy baja, aunque pueda suponer una parada o afecte a la potencia o al rendimiento, el fallo debe ser considerado como importante. Y por último, el fallo será tolerable si no afecta a la producción.

Desde el punto de vista del mantenimiento, si el coste de la reparación (de la suma del fallo más otros fallos que pudiera ocasionar ese) supera una cantidad determinada (por ejemplo, 10.000 Euros), el fallo será crítico. Será importante si está en un rango inferior (por ejemplo, entre 1000 y 10.000 Euros) y será tolerable por debajo de cierta cantidad (por ejemplo, 1000 Euros). Las cantidades indicadas son meras referencias, aunque pueden considerarse aplicables en muchos casos.

En resumen, para que un fallo sea crítico, debe cumplir alguna de estas condiciones (Figura 4.3):

- Que pueda ocasionar un accidente que afecte a la seguridad o al medioambiente, y que existan ciertas posibilidades de que ocurra.
- Que suponga una parada de planta o afecte a la potencia neta de la planta o a su rendimiento (consumo de combustible por Kw/h generado).
- Que la reparación del fallo más los fallos que provoque éste (fallos secundarios) sea superior a cierta cantidad.

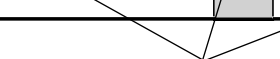
CRÍTICO


ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE FALLOS				
SEGURIDAD Y MEDIOAMBIENTE		PRODUCCIÓN		MANTENIMIENTO
Accidente grave probable		Supone parada o afecta a potencia o rendimiento		Alto coste de reparación (>10.000 €)
Accidente grave, pero muy poco probable		Afecta a potencia y/o rendimiento, pero el fallo es poco probable		Coste medio de reparación (1.000-10.000 €)
Poca influencia en seguridad y medioambiente		No afecta a la producción		Bajo coste de reparación (<1.000 €)

Figura 4.3. *Análisis de criticidad de un fallo crítico.*

Para que un fallo sea importante (Figura 4.4):

- No debe cumplir ninguna de las condiciones que lo hagan crítico.
- Debe cumplir alguna de estas condiciones:
 - Que pueda ocasionar un accidente grave, aunque la probabilidad sea baja.
 - Que pueda suponer una parada de planta, o afecte a potencia y/o rendimiento, pero que la probabilidad de que ocurra sea baja.
 - Que el coste de reparación sea medio.



ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE FALLOS				
SEGURIDAD Y MEDIOAMBIENTE		PRODUCCIÓN		MANTENIMIENTO
Accidente grave probable		Supone parada o afecta a potencia o rendimiento		Alto coste de reparación (>10.000 €)
Accidente grave, pero muy poco probable		Afecta a potencia y/o rendimiento, pero el fallo es poco probable		Coste medio de reparación (1.000-10.000 €)
Poca influencia en seguridad y medioambiente		No afecta a la producción		Bajo coste de reparación (<1.000 €)

IMPORTANTE**Figura 4.4.** *Análisis de criticidad de un fallo importante.*

Para que un fallo pueda ser considerado tolerable, (Figura 4.5) no debe cumplir ninguna condición que le haga ser crítico o importante, y además, debe tener poca influencia en seguridad y medioambiente, no afectar a la producción de la planta y tener un coste de reparación bajo.

ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE FALLOS				
SEGURIDAD Y MEDIOAMBIENTE		PRODUCCIÓN		MANTENIMIENTO
Accidente grave probable		Supone parada o afecta a potencia o rendimiento		Alto coste de reparación (>10.000 €)
Accidente grave, pero muy poco probable		Afecta a potencia y/o rendimiento, pero el fallo es poco probable		Coste medio de reparación (1.000-10.000 €)
Poca influencia en seguridad y medioambiente		No afecta a la producción		Bajo coste de reparación (<1.000 €)

TOLERABLE

Figura 4.5- *Análisis de criticidad de un fallo tolerable.*

4.2.8. Fase 5: Determinación de medidas preventivas

Determinados los modos de fallo del sistema que se analiza y clasificados estos modos de fallo según su criticidad, el siguiente paso es determinar las medidas preventivas que permiten bien evitar el fallo o bien minimizar sus efectos.

Las medidas preventivas que se pueden tomar son de cinco tipos: tareas de mantenimiento, mejoras, formación del personal, modificación de instrucciones de operación y modificación de instrucciones de mantenimiento. Estudiemos cada una de ellas con mayor detalle.

Tareas de mantenimiento

Son los trabajos que podemos realizar para cumplir el objetivo de evitar el fallo o minimizar sus efectos. Las tareas de mantenimiento pueden, a su vez, ser de los siguientes tipos:

- *Tipo 1: Inspecciones visuales.* Veíamos que las inspecciones visuales siempre son rentables. Sea cual sea el modelo de mantenimiento aplicable, las inspecciones visuales suponen un coste muy bajo, por lo que parece interesante echar un vistazo a todos los equipos de la planta en alguna ocasión.
- *Tipo 2: Lubricación.* Igual que en el caso anterior, las tareas de lubricación, por su bajo coste, siempre son rentables
- *Tipo 3: Verificaciones* del correcto funcionamiento realizados *con instrumentos propios* del equipo (verificaciones *on-line*). Este tipo de tareas consisten en la toma de datos de una serie de parámetros de funcionamiento utilizando los propios medios de los que dispone el equipo. Son, por ejemplo, la verificación de alarmas, la toma de datos de presión, temperatura, vibraciones, etc. Si en esta verificación se detecta alguna anomalía, se debe

Tabla 10.2. *Niveles sonoros y sus efectos en personas.*

Nivel sonoro en dB	Efectos nocivos
30	Dificultad en conciliar el sueño Pérdida de calidad del sueño
40	Dificultad en la comunicación verbal
45	Probable interrupción del sueño
50	Malestar diurno moderado
55	Malestar diurno fuerte
65	Comunicación verbal extremadamente difícil
75	Pérdida de oído a largo plazo
110 - 140	Pérdida de oído a corto plazo

Los puntos que generan niveles de ruido apreciables en una central de ciclo combinado son los siguientes:

- Tren de potencia (turbina de gas, turbina de vapor, generador). Constituyen la principal fuente de ruido, con niveles superiores a los 90 dB. Para disminuirlo, se envuelven estos equipos con una manta aislante sujeta a la carcasa. Con ello se minimiza el ruido al exterior y las pérdidas de calor. Además, cada uno de esos equipos se ‘encierra’ en un recinto que lo aísla acústicamente del exterior. El conjunto del tren de potencia se sitúa en una nave cuyas paredes están formadas normalmente por paneles acústicos, que protegen el conjunto de las inclemencias meteorológicas y evitan que el ruido salga al exterior. El resultado final es que desde el exterior de la central (incluso desde el exterior de la nave) no se percibe en absoluto ninguna variación del nivel sonoro, al ser menor que el ruido de fondo.
- Transformadores. Generan un ruido constante de baja frecuencia (50 Hz, la frecuencia de la corriente alterna). El nivel no es muy alto (unos 30 dB a un metro de distancia del transformador principal) y se mantiene como un ruido de fondo constante.
- Bombas de agua de alimentación a caldera. Las bombas de alta presión suelen ser las más ruidosas, y por ello, se sitúan en el interior de recipientes insonorizados. Las bombas de media y baja presión emiten un nivel sonoro aceptable, por debajo de los 50 dB.

- Bombas de agua de refrigeración. Suelen ser de gran tamaño, pero su nivel sonoro es bajo, por lo que en general ni siquiera están dentro de recintos aislados.
- Ventiladores de torre de refrigeración o de aerocondensadores. El ruido de estos equipos a muy corta distancia es alto, pero la propia constitución de éstos hace que el ruido que se transmite al exterior sea casi inapreciable.
- Válvulas de seguridad de caldera. Cuando se produce la apertura de las válvulas de seguridad, el sonido puede apreciarse a cierta distancia.
- Compresor de gas. El compresor de gas en funcionamiento produce un nivel sonoro bastante apreciable, por lo que bien el conjunto motor-compresor o bien tan sólo éste último suelen situarse dentro de un receptáculo insonorizado.

El resultado final de las medidas correctoras que se toman para reducir el nivel de ruido es que en el interior son muy pocas las zonas que necesitan de protectores acústicos (normalmente tan sólo en el interior de los receptáculos insonorizados), por lo que es posible realizar los trabajos normales en una central sin ningún tipo de protección auditiva. En el exterior de la central el ruido que se transmite es realmente bajo, y es difícil distinguir desde fuera si la central está en marcha o parada únicamente tomando como referencia el ruido que se aprecia.

10.6. RESIDUOS TÓXICOS Y PELIGROSOS

10.6.1. Aceites usados

Los aceites usados provienen del sistema del tren de potencia (conjunto formado por turbina de gas, de vapor y generador) y de los transformadores. El resto de los equipos de la planta son pequeños consumidores de lubricantes.

El aceite rara vez se sustituye de forma sistemática. En su lugar, se realizan análisis periódicos para determinar si éste mantiene sus propiedades, e incluso en el caso de que en el análisis se determine que está contaminado por determinadas sustancias, puede filtrarse y evitar así su sustitución.

La cantidad de aceite usado que se entrega a un gestor autorizado de residuos al año es baja en este tipo de centrales. Es obligatorio llevar un registro de la cantidad de aceite usado enviado para su tratamiento.

El aceite usado debe almacenarse en un recinto apropiado de manera que un derrame pueda ser controlado y no afecte ni al suelo ni se pueda mezclar con aguas residuales, pluviales o freáticas. Cada uno de los envases que contienen este aceite usado debe etiquetarse convenientemente.

10.6.2. Envases de productos químicos

Los diversos productos químicos que se emplean en la planta son suministrados en envases de diversos tamaños, aunque generalmente son materiales plásticos. Estos envases vacíos deben guardarse en un recinto señalizado especial con acceso restringido y deben ser entregados a un gestor autorizado de residuos, para su tratamiento.

10.6.3. Filtros de aire de entrada a turbina de gas

Es un caso algo especial de residuo sólido, no tanto por su toxicidad o peligrosidad, sino por su volumen. Cada cambio de filtros supone generar un volumen grande de residuos, que es necesario prever para dimensionar adecuadamente el contenedor para su retirada.

10.7. OTROS RESIDUOS SÓLIDOS NO TÓXICOS

El resto de los residuos que se generan en una planta de ciclo combinado son iguales a los que se generan en cualquier otra actividad industrial: chatarra metálica, papel y cartón, vidrio, plástico, madera, residuos orgánicos (restos de comida, etc.) y residuos inorgánicos (limpieza de oficinas, de talleres, etc.).

Estos residuos pueden ser tratados como residuos sólidos urbanos, pero es más ecológico y aconsejable separarlos y entregarlos a un gestor de residuos para su reciclado. La única precaución que hay que tener en cuenta es que es mucho más eficaz separar los residuos en origen, por lo que es necesario prever papeleras, contenedores, cubos de basura, etc., diferenciados para cada tipo de residuo.

10.8. ACCIDENTES, SITUACIONES ESPECIALES Y RIESGOS MEDIOAMBIENTALES

Una central de ciclo combinado puede verse afectada por accidentes o situaciones anómalas que supongan un riesgo medioambiental. Las normas ISO 14000 y las propia lógica indican que es necesario estudiar esos accidentes po-

tenciales y modos de funcionamiento anormales que pudieran tener un impacto medioambiental negativo, para tratar de minimizar sus efectos.

10.8.1. Vertidos de combustible auxiliar

Además del combustible habitual (gas natural), en una central de ciclo combinado suele usarse un combustible de respaldo, por si el gas no estuviera disponible y se quisiera mantener la central en marcha. Este combustible auxiliar suele ser un combustible líquido, como gasoil o fuel, que se almacena en grandes depósitos.

Un accidente medioambiental posible es el derrame de este combustible, por fallo en el propio depósito, en conducciones o en las bombas que lo impulsan. También es posible un derrame en la descarga desde el camión cisterna desde el que se suministra dicho combustible.

Para minimizar el impacto que pueda tener uno de estos vertidos, es necesario tomar las siguientes medidas:

- La descarga debe hacerse en una plataforma provista de drenajes, que conduzcan cualquier posible pérdida hacia una depuradora especial que retendrá la cantidad vertida.
- Los camiones que se utilicen deben estar en perfecto estado, y debe hacerse una inspección visual del estado del equipo de trasiego antes de comenzar ninguna maniobra.
- Los tanques de almacenamiento deben tener a su alrededor un suelo impermeable y un muro de contención cuyo interior debe tener capacidad para retener la totalidad de un tanque.
- Deben hacerse inspecciones periódicas en tanques, tuberías y bombas de impulsión, para asegurar que se encuentran en perfecto estado.

10.8.2. Roturas de tuberías de aguas de refrigeración

Si la refrigeración se realiza con agua dulce, es decir, se obtiene de un río, un vertido accidental de esta agua no supone ningún riesgo ambiental de consideración.

Si la refrigeración se realiza en cambio con agua de mar, un vertido incontrolado de esta agua bien por una pequeña fuga o bien por una rotura de una tubería de conducción puede provocar un impacto severo, por la salinización del terreno (el ión sodio Na^+ en determinadas concentraciones es un poderoso veneno para muchas especies vegetales).

Para evitar el impacto ambiental negativo que pudiera tener este accidente, es necesario realizar un control periódico del estado de la conducción, realizando las observaciones, pruebas hidráulicas o neumáticas, inspecciones o verificaciones que sean precisas. Es conveniente igualmente evitar la excavación incontrolada del terreno atravesado por la conducción, y en el caso de que la toma de agua y la central estén alejadas, es conveniente señalar la tubería.

10.8.3. Derrames de aceites

La toxicidad del aceite no reside tanto en el compuesto básico como en los aditivos que le confieren ciertas propiedades. Los compuestos químicos empleados en estos aditivos pueden pasar de la fase aceitosa a la fase acuosa, y son los principales responsables del efecto contaminante de un vertido de aceite.

Los derrames de aceites pueden suceder en diversas áreas: fugas de aceite por fallos en depósitos o tuberías del sistema de lubricación del tren de potencia, fugas de aceite por fallos en transformadores, derrames desde bidones que contienen aceite nuevo o usado, fugas de aceite en trasvases de unos recipientes a otros.

Para evitar derrames de aceite, es necesario observar diariamente los equipos que lo contienen o lo utilizan, para tratar de detectar cualquier posible fallo de forma incipiente.

Para evitar la contaminación provocada por un derrame de aceite, lo principal es asegurar que el aceite no llega al subsuelo ni a cauces públicos, ya sean subterráneos o superficiales. Para ello es conveniente prever las zonas de posibles derrames y realizar las canalizaciones necesarias que conduzcan un posible vertido a la depuradora correspondiente (la que separará agua y aceite) o será retenido en un área perfectamente impermeable de la que puede ser retirado con la ayuda de los medios necesarios. Para ello, las naves y edificios industriales deben estar dotados de un sistema de drenajes que conduzcan cualquier vertido en ellas a la depuradora de aguas aceitosas. Igualmente, las zonas en las que se almacenan los aceites (sean nuevos o usados) deben estar dotadas de rejillas y muros de contención, capaces de retener un posible derrame que después pueda ser retirado con la ayuda de materiales absorbentes o con aspiradoras especiales. Por último, debe evitarse cualquier manipulación del aceite fuera de las zonas en las que existen esos drenajes especiales o esos muros de contención.

10.8.4. Funcionamiento deficiente de depuradoras

Cualquiera de las depuradoras de la planta puede presentar un funcionamiento deficiente que provoque que los niveles de determinados contaminantes puedan ser superados, bien en la balsa de recogida de aguas de proceso (donde todavía puede actuarse), o bien en el punto de vertido.

Por ello, todas las depuradoras deben someterse a un estricto plan de mantenimiento y de análisis químico de sus parámetros fundamentales, y deben ser operadas por personal suficientemente entrenado.

10.8.5. Derrames de ácido sulfúrico

El ácido sulfúrico se emplea para rebajar el pH del agua de refrigeración y para regenerar los lechos mixtos de la planta de tratamiento de agua.

Medioambientalmente, el efecto de un derrame accidental es la variación del pH que provoca. Por ello, los depósitos contenedores que almacenan este ácido deben estar situados en zonas donde un derrame pueda ser contenido, sin que pase al subsuelo, a aguas freáticas o a aguas pluviales. Los depósitos deben estar rodeados de un suelo impermeable y antiácido y de un muro de contención capaz de albergar el contenido total del depósito.

Si el ácido se suministra en camiones, la descarga debe realizarse en una zona con drenajes especiales capaces de contener cualquier posible derrame accidental. Si se realiza en contenedores, el trasiego debe realizarse con equipos apropiados previamente verificados y en zonas que no supongan ningún riesgo en caso de vertido accidental.

10.8.6. Derrames de otros productos químicos

Para el resto de los productos químicos que se usan en la planta, los riesgos de derrame accidental son los mismos que los indicados para aceites y para el ácido sulfúrico. Las medidas preventivas también son las mismas: su manipulación y su almacenamiento en recintos adecuados.

10.8.7. Combustión inadecuada en turbina de gas

Desajustes en la cámara de combustión y quemadores pueden hacer que tanto el consumo de gas sea superior al normal (lo que influirá en el rendimiento de

¿Pero cómo es esa gestión perfecta, ideal? ¿Es posible definir como debería ser un sistema perfecto de gestión? Desde luego es posible tratar de marcar unas directrices de lo que debería ser una gestión ideal o excelente, lo que podríamos definir como una gestión de *clase mundial*. Una vez definida, no tendremos más que comparar esa gestión ideal con la que se lleva a cabo en una planta concreta, y determinar así si cada uno de los pequeños aspectos en que puede dividirse la gestión de la planta está gestionado de la mejor forma posible. Todos aquellos puntos que se aparten de esa gestión excelente serán puntos de mejora.

El esquema que proponemos para definir esa gestión ideal²⁴ o de *clase mundial* y para comparar posteriormente esa gestión con la de una planta concreta es el siguiente:

1. Dividir la planta en diferentes áreas de gestión.
2. Determinar los objetivos claves que se deben alcanzar en cada una de esas áreas.
3. Determinar los factores que afectan al cumplimiento de esos objetivos.
4. Fijar un estándar de excelencia: cómo debería ser la gestión ideal de esos factores en cada área de gestión.
5. Comprobar la situación de cada uno de esos factores, elaborando y contestando un cuestionario que nos permita detectar dónde la gestión es acertada y dónde no lo es.

11.2. AREAS DE GESTIÓN

Las áreas de gestión en que puede dividirse de manera aceptable una central térmica son las siguientes:

- Operación.
- Mantenimiento.
- Control químico.
- Seguridad.
- Medioambiente.
- Administración.

Estudiemos detenidamente cada una de ellas.

²⁴ En textos sobre calidad referidos a la excelencia en la gestión suele aparecer constantemente el concepto de *gestión de clase mundial*, o *world-class*.

11.3. LA OPERACIÓN DE LA PLANTA

Identifiquemos en primer lugar los objetivos clave que definen una operación ideal, una operación de planta ‘excelente’:

- La operación debe realizarse de forma segura para las instalaciones, asegurando el mínimo deterioro posible.
- La operación debe seguir las consignas de carga que se dictan desde la oficina o despacho de carga que coordina la venta de energía a la red eléctrica, asegurando el exacto cumplimiento del programa que se dicta.
- La operación debe realizarse de la forma más económica posible, utilizando los recursos estrictamente necesarios en cada momento. Esto incluye la optimización del personal, del combustible, del agua, de la energía consumida por los equipos auxiliares, etc.

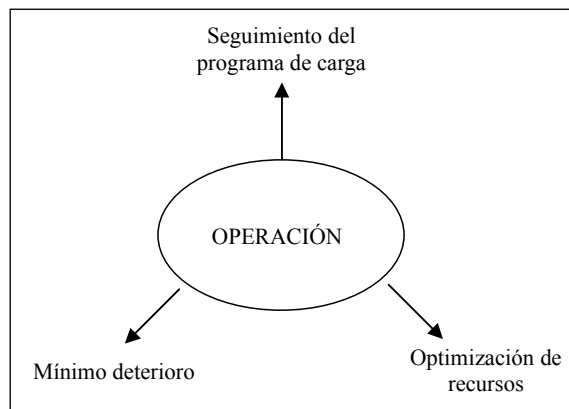


Figura. 11.1. *Objetivos clave en la operación de la planta.*

Definidos los objetivos clave (mínimo deterioro, seguimiento del programa de carga y optimización de recursos), estudiemos ahora qué factores influyen en esos objetivos clave que marcan la excelencia en la operación.

En lo referente al personal, los factores con influencia son la organización, la formación, la polivalencia y el clima laboral.

En cuanto a la organización, ésta debe asegurar que tanto el funcionamiento normal como en situaciones especiales se cuenta con suficiente personal preparado.

Las cuestiones que se pueden plantear son las siguientes:

1. ¿La organización del personal de operaciones asegura la presencia de suficiente personal preparado para afrontar el funcionamiento normal de la planta?

2. ¿La organización del personal de operaciones asegura la presencia de suficiente personal preparado para afrontar situaciones de funcionamiento anormal?
3. ¿La organización del personal de operaciones genera más horas laborales de las legalmente permitidas?
4. ¿El horario del personal de operaciones resulta adecuado?

En cuanto a la formación, hay que distinguir entre la formación previa, formación inicial y formación continua. La primera es la formación que debe poseer un candidato a un puesto para poder aspirar a él. Es una formación que debe poseer *antes* de su incorporación. La segunda, la formación inicial, es la que recibe al inicio de su incorporación y antes de asumir alguna responsabilidad. Esta formación inicial debe asegurar que cuando un operario se incorpora a la plantilla de la central recibirá el entrenamiento suficiente para poder realizar eficientemente su trabajo desde el primer momento. Debe estar perfectamente estructurada, e incluso documentada en forma de procedimiento, de manera que ante una nueva incorporación exista una pauta clara sobre la formación que debe recibir. La tercera, la formación continua, debe asegurar que el personal de operaciones revisa sus conocimientos en los aspectos más importantes de su trabajo y, especialmente, en aquellas tareas ocasionales que no se realizan de una forma continuada. Entre los conocimientos más importantes que debe poseer el personal de operaciones, además de los necesarios para operar la planta, estarían los conocimientos en electricidad en alta y baja tensión, los conocimientos de mecánica básica, de química de la planta y en prevención de riesgos e impacto medioambiental.

Las cuestiones que se pueden plantear son las siguientes:

5. ¿Está establecida la formación previa que se requiere para los puestos de operación?
6. ¿Esa formación previa que se exige es adecuada, proporcionada, con la importancia de cada puesto?
7. ¿Todo el personal posee esa formación previa a su incorporación?
8. ¿Está establecida cuál es la formación inicial que debe recibir el personal de operaciones al incorporarse?
9. ¿Se recibe de forma efectiva y adecuada esa formación inicial?
10. ¿Se establece anualmente la formación que debe recibir el personal de operaciones (plan de formación)?

- Garantizar el cumplimiento de todas las normativas vigentes en materia medioambiental.
- Asegurar el cumplimiento de la política de calidad de la empresa.

Este puesto suele requerir de apoyo externo de la estructura del resto de la organización (departamento de calidad, seguridad o medioambiente centralizados), o de técnicos de apoyo si la carga de trabajo es grande, tanto de forma puntual como permanente.

El perfil habitual es el de una persona con titulación superior, con formación específica en materia de seguridad e impacto medioambiental, y con gran experiencia en estas áreas, preferentemente en centrales térmicas. Es importante valorar su carácter, pues debe ser una persona con indudables dotes de mando.

7.4. PERSONAL ADMINISTRATIVO

Para completar el organigrama de una planta de ciclo combinado es necesario no olvidar los puestos administrativos. Generalmente son tres: servicios administrativos, compras y sistemas informáticos.

Para todos ellos se requiere formación y experiencia acorde con cada especialidad. La dependencia jerárquica suele ser directa del director de planta.

7.5. ORGANIGRAMA COMPLETO

Se exponen a continuación varios tipos de organigrama, que se diferencian sobre todo en la organización del departamento de mantenimiento. Por supuesto, existen otras variantes diferentes a las expuestas, pero casi siempre responden a situaciones puntuales que consideran las aptitudes y actitudes de personas concretas (departamentos que se fusionan, responsabilidades compartidas, polivalencia, etc.) y de la carga que un sistema de trabajo concreto suponga. Así, un departamento de calidad puede requerir de una sola persona con dedicación exclusiva.

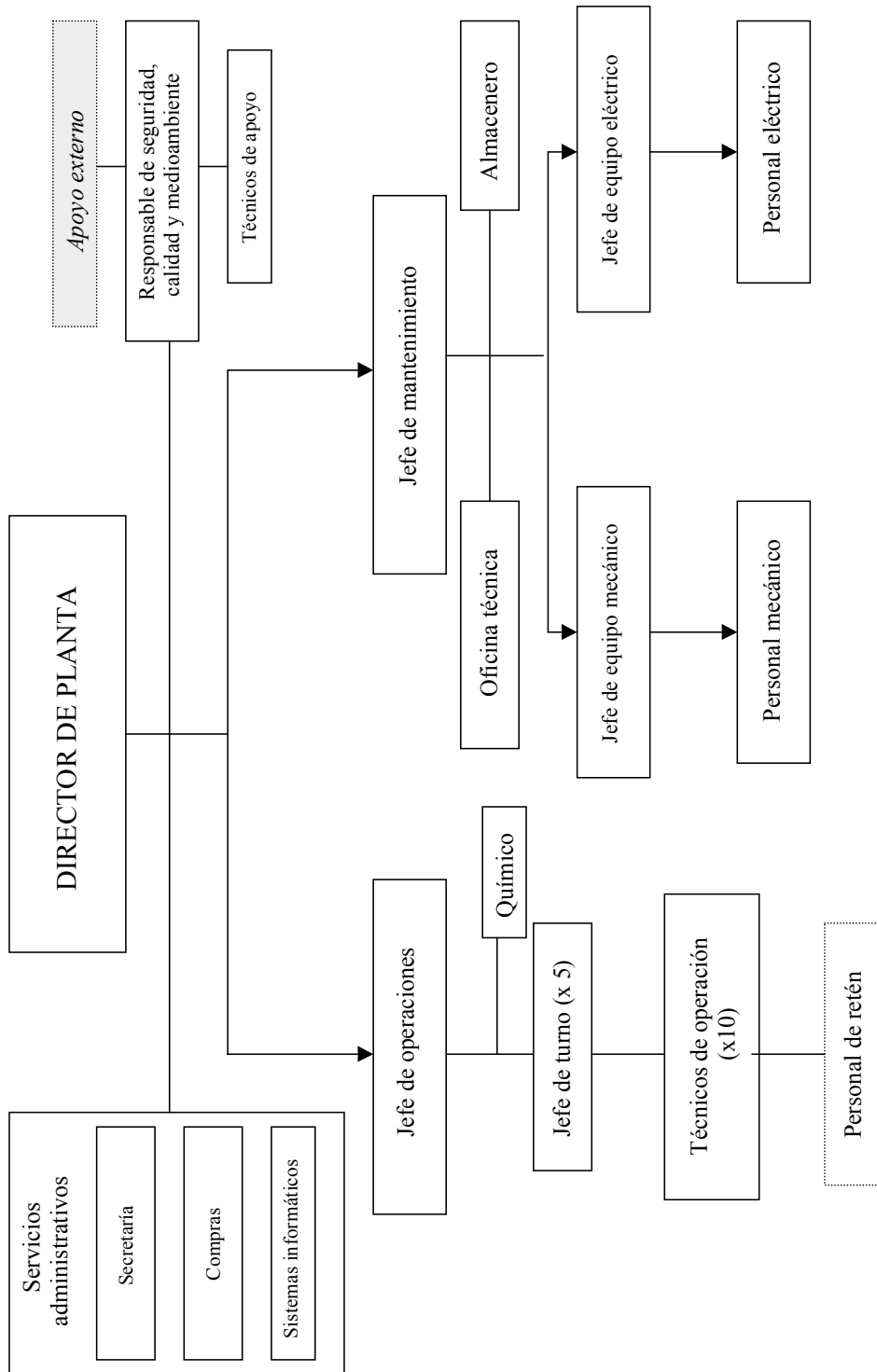


Figura 7.7. Organigrama n° 1 Total 40 personas. Mantenimiento basado en especialidades.

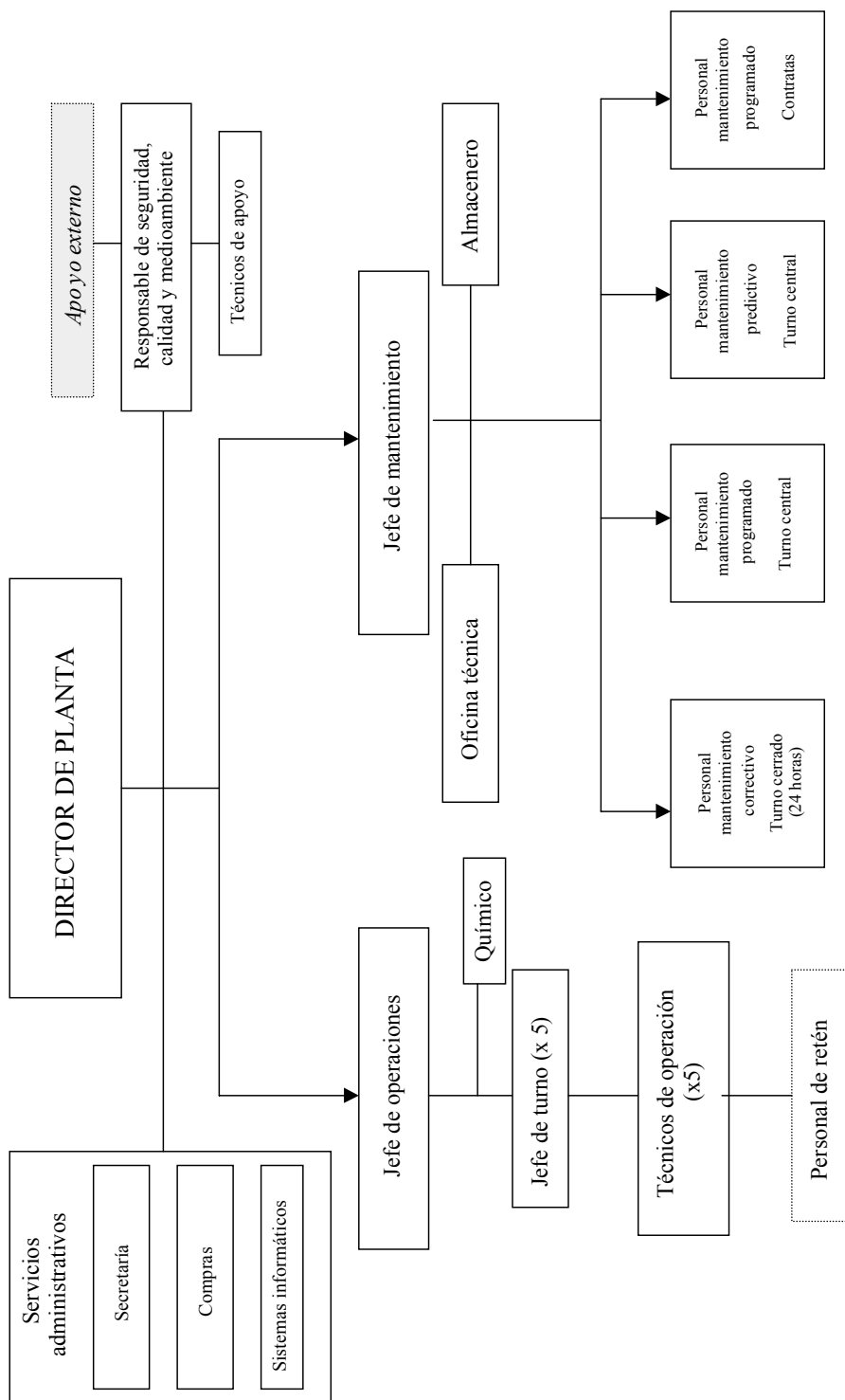


Figura 7.8. Organigrama n° 2 Total 30 personas. Mantenimiento basado en tipo de mantenimiento.

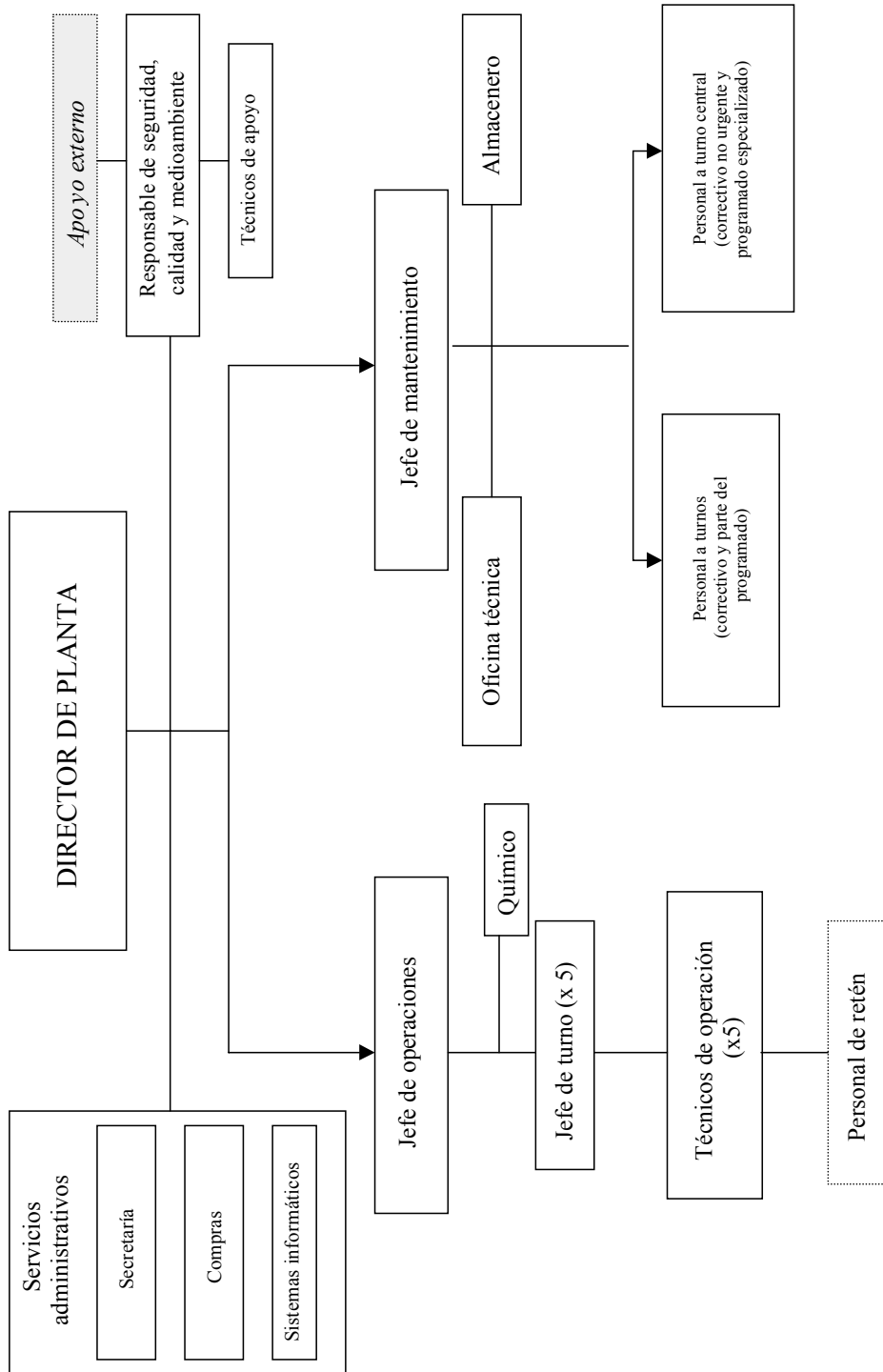


Figura 7.9. Organigrama n° 3. Total 30 personas: Mantenimiento basado en horarios.

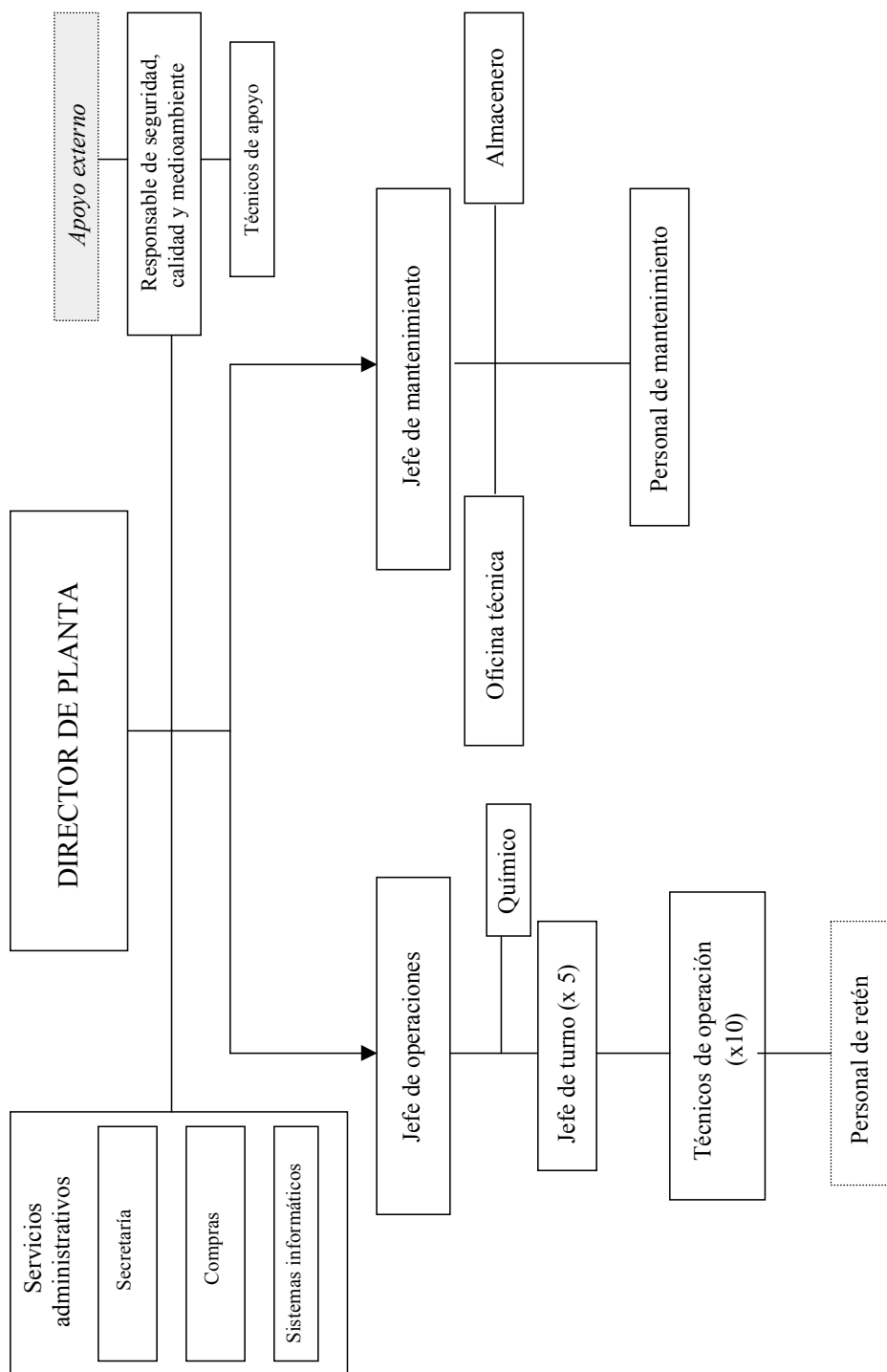


Figura 7.10. Organigrama nº 4 Total 30 personas. Mantenimiento tipo 'pool'.

7.6. FLEXIBILIDAD Y POLIVALENCIA

Tradicionalmente, las plantas industriales han diferenciado muy bien los puestos de trabajo por especialidades. Las actividades de cada una de las áreas eran estancas, de manera que el campo de acción de cada una de ellas estaba perfectamente delimitado. A un mecánico no se le ocurría tocar nada que tuviera que ver con la electricidad, y para un instrumentista era desagradable mancharse las manos. Un operario de producción no se preocupaba en absoluto por la solución de averías, por la limpieza o el engrase de su equipo. Por desgracia, para los responsables de las plantas, esa situación no ha cambiado mucho. En la mayoría de las grandes empresas los subdepartamentos de producción y mantenimiento, y las subdivisiones dentro de éstos, siguen siendo casi estancos, observándose una mínima permeabilidad en los últimos años.

Sólo algunas empresas están optando por fomentar la polivalencia. Pero se encuentran con dos dificultades:

- No hay personal polivalente en el mercado, y deben formarlo en el seno de la propia empresa. Los planes de formación tienen dificultades para llevarse a cabo, suelen estar mal estructurados, cuentan con bajo presupuesto, se realizan fuera del horario laboral, la asistencia es voluntaria, etc.
- Una gran parte del personal de mantenimiento es reactivo a la polivalencia, y prefiere mantener actividades separadas. La acción sindical fomenta esta actitud.

7.6.1. Ventajas e inconvenientes de la especialización

La ventaja más importante de la especialización es que, al tener una parcela menor en la que centrar el aprendizaje y el entrenamiento, es posible profundizar más, y el conocimiento que se tiene de los equipos es más exhaustivo. Ésta es la ventaja de la especialización en general: se puede conocer más a fondo algo si el ámbito es menor.

Entre los inconvenientes estarían los siguientes:

- En tareas que requieren de varias especialidades, el rendimiento disminuye. Una tarea estará compuesta por varias subtareas, algunas de las cuales serán eléctricas, otras mecánicas, y otras deberán ser ejecutadas por personal de operaciones, por ejemplo. La espera de un especialista durante el tiempo en que otros estén trabajando hará que el rendimiento

del personal disminuya (unos trabajan mientras otros esperan a que éstos acaben).

- Aumenta el número de personas imprescindibles. Cuanto mayor especialización haya, mayor será el número de personas únicas que realizan una serie de tareas específicas en las que no hay nadie más con la formación y entrenamiento necesarios.
- Aumenta el número de operarios que se necesitan en la planta, sobre todo en este tipo de plantas en las que el número de trabajadores es bajo.

7.6.2. El fomento de la polivalencia. La polivalencia como táctica para la optimización

La polivalencia es la antítesis de la especialización. Significa la posibilidad de que un operario pueda intervenir en tareas de diversa índole. La polivalencia total significaría que un operario de una planta eléctrica podría realizar cualquier tarea de las que se requieren en una central: intervenir en el mantenimiento, operar la planta, controlarla químicamente, encargarse de la seguridad, etc.

Fomentar la polivalencia soluciona los inconvenientes que encontramos en la especialización: disminuye el número de personas imprescindibles (más personas formadas para un número mayor de tareas), aumenta el rendimiento, y permite disminuir el número de operarios necesarios para gestionar una planta de ciclo combinado.

Los resultados económicos de la polivalencia son tan favorables que hoy en día cualquier empresa que quiera reducir sus costes (es decir, casi todas las empresas) deberían plantearse como medio para conseguir este objetivo.

Una pregunta que nos surge cuando intentamos plantear la polivalencia es cómo efectuar la transición desde una situación de especialización hacia una donde el personal pueda efectuar múltiples funciones. Los pasos a dar serían los siguientes:

- Identificar tareas exclusivas. Son tareas exclusivas aquellas que sólo realizan un número muy pequeño de operarios.
- Identificar tareas susceptibles de ser realizadas por personal de otras especialidades. No todas las tareas pueden ser realizadas por cualquier operario (algunas necesitan una alta formación y un periodo largo de entrenamiento para ser desarrolladas con eficacia), pero otras muchas pueden ser realizadas por cualquier operario con un periodo de forma-

ción mínimo. Es el caso de determinadas mediciones, de la desconexión de un motor o de trabajos de soldadura de poca envergadura.

- Desarrollar un plan de formación que incluya entrenamiento en la realización de tareas que se consideren exclusivas y en aquellas tareas que se consideren susceptibles de generalizarse.
- Realizar ese plan de formación. Por supuesto, no sólo debemos quedarnos en la fase de diseño del plan, sino que debemos establecer recursos y plazos necesarios para realizarlo, planificarlo y llevarlo a cabo.
- Redactar procedimientos de trabajo e instrucciones técnicas. Si todas las actividades que realiza el departamento estuvieran adecuadamente procedimentadas, con instrucciones y procedimientos claros y entendibles por cualquier operario (a veces llamados *guía-burros*), la exclusividad, la especialización y la *imprescindibilidad* no serían un problema. La redacción de este tipo de documentos garantiza que cualquier operario dispondrá en todo momento de la información necesaria para realizar cualquier tarea.
- Primar económicamente la polivalencia. Si se revierte en los propios operarios una parte del ahorro que supone para la empresa tener personal polivalente, se consigue motivar al personal a que opte por la no-especialización. Es importante que, para que tenga algún efecto, debe figurar en su nómina como un plus complementario por polivalencia, en vez de aumentar el grueso salarial principal.
- Crear categorías en función de la polivalencia. Determinadas empresas que han optado por la polivalencia han establecido una diferencia entre el personal formado en varias especialidades y el personal especializado. La categoría más alta corresponde al personal polivalente. Este aumento de categoría puede tener o no una repercusión económica.
- Seleccionar al personal de nueva incorporación con la condición de que sea polivalente. Para llevar a efecto esta forma de fomento de la no-especialización, tan sólo es necesario que al nuevo personal se le exija entre las condiciones para su contratación tener conocimiento y/o experiencia en diversas especialidades.

7.7. PLAN DE FORMACIÓN

Si en cualquier industria es muy importante elaborar un plan de formación para todo el personal, de forma que se cubran unos objetivos básicos, en una central de ciclo combinado es casi imprescindible. La razón está relacionada

con la tecnología empleada: todo es novedoso, la formación inicial recibida al ‘tomar posesión’ de la planta es, inicial, y no es habitual que el personal que se contrata tenga la formación necesaria.

Analizaremos en este apartado cómo abordar el plan de formación en sus diversas variantes: plan de formación inicial (para el inicio de la actividad de la planta), plan de formación para una nueva incorporación, y plan de formación continuo, en los diferentes puestos de la central. Pero comencemos estudiando qué objetivos se pretenden con la formación del personal.

7.7.1. Objetivos buscados en la formación del personal

Una empresa no es una asociación altruista con una clara vocación social que se plantea como objetivo de cualquier actividad mejorar la sociedad. Ése puede ser otro de sus fines, pero no el principal objetivo.

El principal objetivo de una empresa eléctrica ni siquiera es generar energía. Decididamente, tampoco es ése su objetivo, ése es quizás un medio, pero no un objetivo.

El objetivo de cualquier empresa es *ganar dinero*, y el segundo objetivo es *ganar cada día más*. Esto desde luego no puede hacerse de cualquier forma. Hay que hacerlo cumpliendo otras condiciones: debe hacerse respetando la legalidad y las normas que rigen en la comunidad; manteniendo satisfechos a sus clientes; y debe hacerse por último en un ambiente agradable y motivante para sus trabajadores. No todas las empresas tienen claras esas tres condiciones ‘marco’ para ganar dinero, ni las acatan, pero a aquéllas que no lo hacen la sociedad termina sacándolas de juego.

Si el objetivo principal de una empresa es el que hemos identificado, respetando esas tres condiciones, todo lo que hagamos en la empresa tiene que servir para ayudar a esos dos objetivos fundamentales (ganar dinero y ganar cada día más).

Todo lo dicho hasta ahora parece obvio y a pesar de ello la mayor parte de los planes de formación que preparan las empresas lo olvidan. Una parte de las empresas que elaboran estos planes lo hacen por exigencias de directrices generales decididas en otros ámbitos, porque está de moda, por exigencia de normas tipo ISO 9000 o por hechos similares. Olvidan la principal razón para realizar cualquier cosa en una empresa: ganar dinero, y cada día más. Estas empresas que elaboran sus planes de formación a espaldas del beneficio industrial es seguro que disminuyen éste y no deberían considerarse válidos por la dirección, ya que poco ayudan a sus objetivos, al gastar dinero y recursos inútilmente.

Por otro lado, existen muchas empresas que no tienen ningún plan de formación para su personal, sea éste bueno o malo. Al menos, no gastan dinero de forma estéril. Pero pierden la oportunidad de mejorar los resultados de la empresa derivada de la mejor preparación de su personal.

7.7.2. Plan de formación inicial

El momento idóneo para comenzar la formación del personal que debe hacerse cargo de una planta nueva es durante el proceso de construcción. Se dispone de casi dos años, desde el momento en que comienza la construcción hasta que la planta es entregada para su explotación comercial, para realizar la formación de todo el personal contratado. No quiere esto decir que haya que contratar al personal al inicio de las obras, sino tan sólo que se dispone de casi dos años, tiempo suficiente para garantizar que cuando el personal de explotación deba hacerse cargo de la planta estará perfectamente entrenado para asumir sus funciones.

7.7.3. Nuevas incorporaciones. Formación de acogida

Una forma de acometer la formación es que el personal más antiguo forme al personal que se incorpora. Esta forma de proceder está muy extendida, pero no es la más eficaz. El personal que se encarga de formar al de nueva incorporación no está especializado en dar esa formación, no ha recibido ningún entrenamiento especial para poder llevarla a cabo. Únicamente sabe cómo llevar a cabo su trabajo, pero no es un especialista en formación. No tiene método, no dispone de material didáctico, no tiene una estructura clara de lo que tiene que enseñar, de cada uno de los temas que tiene que abordar. Además, le enseñará su forma de hacer las cosas, no la mejor forma posible de hacerlas, por lo que si está realizando alguna tarea de forma incorrecta este fallo se transmitirá. Por todo ello, es una mala solución formar al personal de nueva incorporación sólo con la formación que puede recibir de los compañeros más antiguos.

Para llevar a cabo la formación de acogida es imprescindible determinar qué debe aprender una persona que se incorpora. Hay que redactar en primer lugar, pues, un índice de su formación.

Una vez creado ese índice, es necesario nombrar a un coordinador de esa formación. Este coordinador debe preparar el material necesario (textos, esquemas, presentaciones, etc.), y debe buscar y preparar a los formadores. La formación teórica habrá que acompañarla con una formación práctica y con un periodo de incorporación tutelado, y en este periodo sí es conveniente que intervengan otros compañeros más experimentados.

Es importante también determinar cuánto tiempo durará probablemente la formación, desde el momento de la contratación hasta que la persona es perfectamente operativa.

La formación a recibir en cada área es distinta, lógicamente. Se indica a continuación la formación inicial mínima que deberían recibir operadores, personal de mantenimiento y personal de control químico.

Personal de operaciones

- Formación en seguridad y prevención de riesgos.
- Formación medioambiental.
- Formación en turbina de gas (fundamentos técnicos, descripción de cada uno de los subsistemas que la componen, conocimientos elementales de mantenimiento, procedimientos de arranque y parada, sistemas de seguridad, precauciones a tener en cuenta, etc.).
- Formación en turbina de vapor (fundamentos técnicos, descripción de cada uno de los subsistemas que la componen, conocimientos elementales de mantenimiento, procedimientos de arranque y parada, sistemas de seguridad, precauciones a tener en cuenta, etc.).
- Formación en caldera y ciclo agua-vapor (fundamentos técnicos, descripción de cada uno de los subsistemas que la componen, conocimientos elementales de mantenimiento, procedimientos de arranque y parada, sistemas de seguridad, precauciones a tener en cuenta, etc.).
- Formación en generador y sistemas eléctricos de alta tensión.
- Formación en el sistema de refrigeración.
- Formación en la estación de gas.
- Formación en planta de producción de agua desmineralizada (fundamentos técnicos, descripción de cada uno de los subsistemas que la componen, conocimientos elementales de mantenimiento, procedimientos de arranque y parada, sistemas de seguridad, precauciones a tener en cuenta, etc.).
- Arranque de la planta (para cada uno de los tipos de arranque).
- Parada de la planta.
- Conservación de la planta en paradas cortas y largas.
- Principales incidentes ocurridos en la planta o en plantas similares.