

José Luis Villabrille • Santiago Sabugal

**MONTAJE Y PUESTA
EN MARCHA DE CENTRALES
TÉRMICAS Y CICLOS
COMBINADOS**



© José Luis Villabrille y Santiago Sabugal, 2017
Reservados todos 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
Internet: <http://www.editdiazdesantos.com>
E-mail: ediciones@editdiazdesantos.es

ISBN: 978-84-9052-067-3
Depósito Legal: M-10355-2017

Fotocomposición: P55 Servicios Culturales
Diseño de cubierta: P55 Servicios Culturales

Printed in Spain - Impreso en España

Jose Luis Villabrille Domínguez

Es Ingeniero Industrial por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Gijón, Universidad de Oviedo y Máster en Administración de Empresas por la Escuela de Administración de Empresas EAE & Uniactiva. Ejerce su actividad profesional en ENDESA desde 1993, habiendo desempeñado diferentes puestos relacionados con la construcción, montaje y puesta en marcha de Centrales Térmicas y Ciclos Combinados dentro de la Unidad de Proyectos y Obras de la Dirección de Ingeniería e I+D de Endesa y en la actualidad es Jefe de Proyecto en la unidad de Project Management & Execution perteneciente la Dirección de Engineering & Construction en Global Thermal Generation de ENEL.

Santiago Sabugal García

Es Ingeniero Industrial por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid y Máster en Gestión y Administración de Empresas por la Escuela de Organización Industrial de Madrid. Ejerció su actividad profesional en ENDESA, desempeñando los puestos de Director en las Centrales Térmicas de Puentes de García Rodríguez y Compostilla y la Dirección de Ingeniería e I+D en Endesa Generación.

Profesor en el Instituto Superior de la Energía, profesor *ad Honorem* en la Universidad Politécnica de Madrid y asesor de proyectos de generación eléctrica y eficiencia energética.

El libro *Montaje y puesta en marcha de centrales térmicas y ciclos combinados*, escrito por Santiago Sabugal y Jose Luis Villabrille marca un hito en los libros sobre las instalaciones de generación de energía eléctrica por vía térmica, es decir, de acuerdo a procesos de combustión u otras formas de generación de energía térmica que luego deba transformarse en energía mecánica en una máquina térmica. Conozco a Santiago desde que era director de la central térmica de Compostilla y hemos tenido la oportunidad de intercambiar ideas sobre todo lo relacionado con las centrales térmicas, no solo sobre sus conceptos termodinámicos sino también sobre su diseño conceptual y sus soluciones mecánicas. He aprendido mucho de él, pues creo que ha ayudado a crear un cuerpo de doctrina claro y conciso sobre este asunto, aportando siempre una visión certera y normalmente suficientemente sencilla para que todos la podamos entender. Por ello ha colaborado muchos años con la docencia en el departamento de Ingeniería Energética de la Universidad Politécnica de Madrid, en el que soy profesor de Máquinas y Motores Térmicos.

Tengo las mejores referencias de Jose Luis Villabrille, también ingeniero industrial, con amplia experiencia en diversos campos del montaje y puesta en marcha en numerosos proyectos en Endesa Generación, actividad profesional que continúa como Jefe de Proyecto en la Unidad de Project Management & Execution de ENEL, lo que le dota de autoridad profesional en este campo.

El libro que han escrito Jose Luis Villabrille y Santiago Sabugal trata de resumir una carrera larga y fructífera en el ámbito de las centrales de generación eléctrica, y plasmar en un número limitado de hojas todo lo que los autores han tenido que vivir en primera persona en las etapas de diseño, montaje y puesta en marcha de centrales de diferentes tipos: centrales de carbón, turbinas de vapor, ciclos combinados con turbinas de gas, etc. Las soluciones que ha ido dando a multitud de pequeños problemas, que los autores han tenido que resolver a lo largo de su actividad profesional, les han permitido ser una autoridad en el tema, plasmando su experiencia en este libro.

El libro da apoyo, ayuda y respuestas claras a la mayor parte de los problemas y dudas que los ingenieros y otros profesionales pueden encontrarse cuando se van a enfrentar a trabajos en el ámbito de la ingeniería de diseño, montaje y puesta en marcha en las industrias de producción de energía eléctrica y otras similares. Es exhaustivo y conciso a la vez, y se dirige tanto a profesionales ya experimentados, que verán en él reflejadas muchas de sus experiencias, pero también aclaradas muchas de

sus dudas, como para los ingenieros o titulados jóvenes que vayan a tener que lidiar con estos asuntos, encontrando en este libro una ayuda inicial imprescindible.

Por todo ello, creo que esta obra llenará un hueco significativo en la bibliografía sobre centrales de generación eléctrica y será de lectura obligatoria para todos los profesionales que tengan que relacionarse con este importante sector de la ingeniería, como es la etapa de montaje y la puesta en marcha de las centrales de producción de energía eléctrica por vía térmica.

JESÚS CASANOVA KINDELÁN

Catedrático en el Departamento de Ingeniería Energética
de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales
en la Universidad Politécnica de Madrid

Introducción

El proyecto de una central térmica es un conjunto de actuaciones financieras, técnicas y organizativas que desembocan en la compra de terrenos, equipos, realización de obras, montaje y puesta en marcha, con el objetivo de que el coste de la central, su potencia, consumo específico y entrada en servicio se corresponda con lo previsto en el plan de negocio del proyecto.

La complejidad y diversidad de equipos y las múltiples y complejas actuaciones de obras y montajes, hacen que el componente organizativo del proyecto, y en especial durante la etapa de obras, montajes y puesta en marcha, tenga un papel relevante y una incidencia importante en el coste y plazo de ejecución del proyecto.

En la obra, montaje y puesta en marcha hay actuaciones por parte de la propiedad y por parte del o de los contratistas. Para simplificar la metodología partimos de un proyecto con un único contratista, tipo llave en mano, y establecemos las actuaciones que corresponderían al contratista principal y en los casos relevantes las de la propiedad que ejercerá el papel de control y supervisión. Abordaremos también los aspectos de formación del futuro personal de explotación de la central y su inclusión progresiva en la organización del montaje y puesta en marcha.

El objetivo de este libro es aportar la experiencia del montaje y puesta en marcha de muchos proyectos y establecer una cronología y metodología de las actuaciones a llevar a cabo, que ayuden a optimizar la secuencia y calidad de los trabajos de obra, montaje y puesta en marcha evitando retrasos y sobrecostes en el proyecto de una central térmica.

Los autores.....	VII
Agradecimientos	IX
Prólogo	XI
Introducción.....	XIII
1. FASE PREVIA A LA OBRA.....	1
1.1. Organización del equipo supervisor de obra.....	1
1.2. Herramientas de proyecto que debe tener el equipo de obra	6
1.3. Aspectos contractuales y legales a tener en cuenta en la obra	8
1.4. Programa de obra, montaje y puesta en marcha	9
1.4.1. <i>General</i>	9
1.4.2. <i>Camino crítico</i>	11
1.4.3. <i>Seguimiento</i>	12
1.5. Planteamiento de la seguridad y salud en obra	16
1.5.1. <i>General</i>	16
1.5.2. <i>Real Decreto 1627/97 sobre Obras de Construcción</i>	17
1.5.3. <i>Propiedad. Aspectos a tener en cuenta</i>	24
1.5.4. <i>Contratista. Gestiones relacionadas con seguridad</i>	27
1.5.5. <i>Mejoras en materia de seguridad</i>	30
1.6. Planteamiento del cumplimiento de los requisitos medioambientales en obra	30
1.6.1. <i>General</i>	30
1.6.2. <i>Normativa</i>	31
1.6.3. <i>Gestiones del promotor</i>	33
1.6.4. <i>Organización del promotor</i>	34
1.6.5. <i>Gestiones del contratista</i>	35
1.6.6. <i>Organización del contratista</i>	36
1.6.7. <i>ISO 14001:2015</i>	36
1.7. Planteamiento de la calidad en obra	37
1.7.1. <i>General</i>	37
1.7.2. <i>Organización</i>	38
1.7.3. <i>Aspectos contractuales relacionados con la calidad</i>	39
1.7.4. <i>Plan de calidad de obra, procedimientos y PPI</i>	40
1.7.5. <i>Objetivos finales</i>	42
1.8. Seguros de construcción y montaje en obra	42
1.8.1. <i>General</i>	42
1.8.2. <i>Seguros del contratista</i>	43
1.8.3. <i>Seguros de la dirección facultativa</i>	43
1.8.4. <i>Seguros de la propiedad</i>	44
1.9. Gestión residuos	45

1.9.1. <i>General</i>	45
1.9.2. <i>Explicación breve del RD 105/2008 y su aplicación a este tipo de proyectos</i>	45
1.9.3. <i>Gestión de residuos en una obra</i>	49
1.10. <i>Gestión de suelos contaminados</i>	52
1.10.1. <i>General</i>	52
1.10.2. <i>Situaciones que se pueden dar</i>	52
1.10.3. <i>Normativa</i>	53
1.10.4. <i>Tipos de descontaminación</i>	53
1.11. <i>Licencia de obra menor</i>	55
1.12. <i>Infraestructura de obra. Proyecto de instalaciones temporales</i>	56
1.12.1. <i>General</i>	56
1.12.2. <i>Proyecto de instalaciones temporales</i>	56
1.12.3. <i>Consideraciones</i>	58
1.12.4. <i>Ejemplo</i>	59
1.13. <i>Trabajos previos de adecuación del terreno</i>	61
1.13.1. <i>General</i>	61
1.13.2. <i>Reunión de lanzamiento</i>	61
1.13.3. <i>Ejecución</i>	62
1.14. <i>Estudios previos del terreno</i>	63
1.14.1. <i>General</i>	63
1.14.2. <i>Ejecución de los estudios previos</i>	65
1.15. <i>Demoliciones previas</i>	65
1.15.1. <i>General</i>	65
1.15.2. <i>Cimentaciones antiguas y enterrados</i>	66
1.15.3. <i>Demoliciones</i>	66
1.15.4. <i>Ejemplos de demoliciones</i>	66
1.16. <i>Control y optimización de empresas contratistas en obra</i>	69
1.16.1. <i>General</i>	69
1.16.2. <i>Organización de los trabajos. Cadenas de subcontratación</i>	70
1.16.3. <i>Sugerencias básicas en la experiencia</i>	72
1.17. <i>Licencia de obra mayor</i>	73
1.18. <i>Reunión de lanzamiento de obra</i>	76
1.18.1. <i>General</i>	76
1.18.2. <i>Requisitos previos para realizar la reunión de lanzamiento de obra</i>	76
1.18.3. <i>Temas a tratar en la reunión de lanzamiento de obra</i>	77
1.18.4. <i>Condicionados para comenzar la obra</i>	85
1.19. <i>Plan de incorporación del personal de explotación</i>	85
1.19.1. <i>Antecedentes</i>	85
1.19.2. <i>Incorporación efectiva</i>	86
1.19.3. <i>Incorporación recomendada para el equipo de control y supervisión</i>	88
1.19.4. <i>Posibles problemas</i>	88
1.20. <i>Hitos de contrato. Facturación y control</i>	89
1.20.1. <i>Antecedentes</i>	89
1.20.2. <i>Facturación e hitos de control</i>	89

2. OBRA CIVIL.....	93
2.1. Desbroce y limpieza del terreno.....	93
2.1.1. Antecedentes	93
2.1.2. Conceptos básicos de ejecución.....	93
2.1.3. Tipo de equipamiento.....	94
2.1.4. Problemas que pueden aparecer.....	94
2.1.5. Controles a efectuar	94
2.1.6. Ejemplos visuales.....	95
2.2. Excavaciones a cielo abierto	96
2.2.1. Antecedentes	96
2.2.2. Conceptos básicos de ejecución.....	96
2.2.3. Tipo de equipamiento.....	97
2.2.4. Problemas que pueden aparecer.....	97
2.2.5. Controles a efectuar	98
2.2.6. Ejemplos visuales.....	99
2.3. Malla de tierra enterrada.....	100
2.3.1. Antecedentes	100
2.3.2. Conceptos básicos de ejecución.....	101
2.3.3. Tipo de equipamiento.....	102
2.3.4. Problemas que pueden aparecer.....	102
2.3.5. Controles a efectuar	103
2.3.6. Ejemplos visuales.....	103
2.4. Cimentaciones	104
2.4.1. Antecedentes	104
2.4.2. Conceptos básicos de ejecución.....	104
2.4.3. Tipo de equipamiento.....	107
2.4.4. Problemas que pueden aparecer.....	107
2.4.5. Controles a efectuar	109
2.4.6. Ejemplos visuales.....	110
2.5. Montaje de tuberías de hormigón con camisa de acero	113
2.5.1. Antecedentes	113
2.5.2. Conceptos básicos y ejecución.....	113
2.5.3. Tipo de equipamiento.....	115
2.5.4. Problemas que pueden aparecer.....	115
2.5.5. Controles a efectuar	115
2.5.6. Ejemplos visuales.....	116
2.6. Sistemas enterrados	118
2.6.1. Antecedentes	118
2.6.2. Conceptos básicos y ejecución.....	118
2.6.3. Tipo de equipamiento.....	120
2.6.4. Problemas que pueden aparecer.....	120
2.6.5. Controles a efectuar	120
2.6.6. Ejemplos visuales.....	121
2.7. Construcción de edificios.....	124
2.7.1. Antecedentes	124
2.7.2. Conceptos básicos y ejecución.....	125
2.7.3. Tipo de equipamiento.....	127
2.7.4. Problemas que pueden aparecer.....	127

2.7.5. Controles a efectuar	128
2.7.6. Ejemplos visuales	129
2.8. Montaje de estructuras de hormigón armado	132
2.8.1. Antecedentes	132
2.8.2. Conceptos básicos y ejecución	132
2.8.3. Tipo de equipamiento	133
2.8.4. Problemas que pueden aparecer	133
2.8.5. Controles a efectuar	133
2.8.6. Ejemplos visuales	134
2.9. Firmes y pavimentos	135
2.9.1. Antecedentes	135
2.9.2. Conceptos básicos y ejecución	135
2.9.3. Tipo de equipamiento	136
2.9.4. Problemas que pueden aparecer	137
2.9.5. Controles a efectuar	137
2.9.6. Ejemplos visuales	138
2.10. Adecuaciones paisajísticas	140
2.10.1. Antecedentes	140
2.10.2. Conceptos básicos y ejecución	141
2.10.3. Tipo de equipamiento	141
2.10.4. Problemas que pueden aparecer	142
2.10.5. Controles a efectuar	142
2.10.6. Ejemplos visuales	142

3. MONTAJE MECÁNICO..... 143

3.1. Estructura	143
3.1.1. Antecedentes	143
3.1.2. Conceptos básicos y ejecución	143
3.1.3. Tipo de equipamiento	145
3.1.4. Problemas que pueden aparecer	145
3.1.5. Controles a efectuar	145
3.1.6. Ejemplos visuales	147
3.2. Soportes	148
3.2.1. Antecedentes	148
3.2.2. Conceptos básicos y ejecución	148
3.2.3. Tipo de equipamiento	149
3.2.4. Problemas que pueden aparecer	149
3.2.5. Controles a efectuar	150
3.2.6. Ejemplos visuales	151
3.3. Tuberías	153
3.3.1. Antecedentes	153
3.3.2. Conceptos básicos y ejecución	153
3.3.3. Tipo de equipamiento	155
3.3.4. Problemas que pueden aparecer	155
3.3.5. Controles a efectuar	157
3.3.6. Ejemplos visuales	158
3.4. Válvulas	161
3.4.1. Antecedentes	161

3.4.2. Conceptos básicos y ejecución.....	161
3.4.3. Tipo de equipamiento.....	163
3.4.4. Problemas que pueden aparecer.....	163
3.4.5. Controles a efectuar	163
3.4.6. Ejemplos visuales.....	164
3.5. Equipos rotativos	165
3.5.1. Antecedentes	165
3.5.2. Conceptos básicos y ejecución.....	165
3.5.3. Tipo de equipamiento.....	168
3.5.4. Problemas que pueden aparecer.....	168
3.5.5. Controles a efectuar	169
3.5.6. Ejemplos visuales.....	170
3.6. Equipos estáticos	172
3.6.1. Antecedentes	172
3.6.2. Conceptos básicos y ejecución.....	172
3.6.3. Tipo de equipamiento.....	173
3.6.4. Problemas que pueden aparecer.....	173
3.6.5. Controles a efectuar	174
3.6.6. Caso del precipitador electrostático.....	175
3.6.7. Ejemplos visuales.....	176
3.7. Tren de potencia	177
3.7.1. Antecedentes	177
3.7.2. Conceptos básicos y ejecución.....	178
3.7.3. Tipo de equipamiento.....	180
3.7.4. Problemas que pueden aparecer.....	180
3.7.5. Controles a efectuar	181
3.7.6. Ejemplos visuales.....	181
3.8. Conductos	187
3.8.1. Antecedentes	187
3.8.2. Conceptos básicos y ejecución.....	187
3.8.3. Tipo de equipamiento.....	188
3.8.4. Problemas que pueden aparecer.....	188
3.8.5. Controles a efectuar	189
3.8.6. Ejemplos visuales.....	190
3.9. Partes a presión (caldera)	192
3.9.1. Antecedentes	192
3.9.2. Conceptos básicos y ejecución.....	192
3.9.3. Detalles constructivos.....	195
3.9.4. Tipo de equipamiento.....	196
3.9.5. Problemas que pueden aparecer.....	196
3.9.6. Controles a efectuar	196
3.9.7. Ejemplos visuales.....	198
3.10. Compuertas.....	204
3.10.1. Antecedentes	204
3.10.2. Conceptos básicos y ejecución.....	205
3.10.3. Tipo de equipamiento.....	205
3.10.4. Problemas que pueden aparecer.....	205
3.10.5. Controles a efectuar	206
3.10.6. Ejemplos visuales.....	207

3.11. Tanques y depósitos	208
3.11.1. Antecedentes	208
3.11.2. Conceptos básicos y ejecución.....	208
3.11.3. Tipo de equipamiento.....	211
3.11.4. Problemas que pueden aparecer.....	211
3.11.5. Controles a efectuar	212
3.11.6. Ejemplos visuales.....	214
3.12. Aislamiento térmico.....	218
3.12.1. Antecedentes	218
3.12.2. Conceptos básicos y ejecución.....	218
3.12.3. Tipo de equipamiento.....	221
3.12.4. Problemas que pueden aparecer.....	221
3.12.5. Controles a efectuar	221
3.12.6. Ejemplos visuales.....	222
3.13. Pinturas y acabados	223
3.13.1. Antecedentes	223
3.13.2. Conceptos básicos y ejecución.....	223
3.13.3. Tipo de equipamiento.....	226
3.13.4. Problemas que pueden aparecer.....	227
3.13.5. Controles a efectuar	227
3.13.6. Ejemplos visuales.....	229
3.15. Pruebas previas a entrega de equipos y sistemas mecánicos	
a puesta en marcha	230
3.15.1. Antecedentes	230
3.15.2. Documentación.....	230
3.15.3. Verificaciones previas de los sistemas y equipos mecánicos.....	230
3.15.4. Pruebas de presión y limpieza en sistemas mecánicos	232

4. MONTAJE ELÉCTRICO 235

4.1. Montaje de la red de tierra aérea.....	235
4.1.1. Antecedentes	235
4.1.2. Conceptos básicos y ejecución.....	236
4.1.3. Tipo de equipamiento.....	237
4.1.4. Problemas que pueden aparecer.....	238
4.1.5. Controles a efectuar	239
4.1.6. Ejemplos visuales.....	240
4.2. Montaje de bandejas	242
4.2.1. Antecedentes	242
4.2.2. Conceptos básicos y ejecución.....	243
4.2.3. Tipo de equipamiento.....	245
4.2.4. Problemas que pueden aparecer.....	245
4.2.5. Controles a efectuar	246
4.2.6. Ejemplos visuales.....	246
4.3. Montaje de conductos para cables.....	248
4.3.1. Antecedentes	248
4.3.2. Conceptos básicos y ejecución.....	249
4.3.3. Tipo de equipamiento.....	250
4.3.4. Problemas que pueden aparecer.....	250

4.3.5. Controles a efectuar	251
4.3.6. Ejemplos visuales.....	252
4.4. Montaje de armarios y cabinas de media y baja tensión.....	253
4.4.1. Antecedentes	253
4.4.2. Conceptos básicos y ejecución.....	254
4.4.3. Tipo de equipamiento.....	256
4.4.4. Problemas que pueden aparecer.....	256
4.4.5. Controles a efectuar	257
4.4.6. Ejemplos visuales.....	258
4.5. Tendido y conexionado de cables eléctricos	261
4.5.1. Antecedentes	261
4.5.2. Conceptos básicos y ejecución.....	262
4.5.3. Tipo de equipamiento.....	264
4.5.4. Problemas que pueden aparecer.....	264
4.5.5. Controles a efectuar	265
4.5.6. Ejemplos visuales.....	267
4.6. Montaje de transformadores de potencia	274
4.6.1. Antecedentes	274
4.6.2. Conceptos básicos y ejecución.....	274
4.6.3. Tipo de equipamiento.....	276
4.6.4. Problemas que pueden aparecer.....	276
4.6.5. Controles a efectuar	277
4.6.6. Ejemplos visuales.....	278
4.7. Montaje de barras de fase aislada.....	283
4.7.1. Antecedentes	283
4.7.2. Conceptos básicos y ejecución.....	284
4.7.3. Tipo de equipamiento.....	285
4.7.4. Problemas que pueden aparecer.....	285
4.7.5. Controles a efectuar	286
4.7.6. Ejemplos visuales y esquema	287
5. MONTAJE DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL.....	291
5.1. Montaje de soportes bandejas y conductos de protección	
para instrumentos	291
5.1.1. Antecedentes	291
5.1.2. Conceptos básicos y ejecución.....	292
5.1.3. Tipo de equipamiento.....	293
5.1.4. Problemas que pueden aparecer.....	294
5.1.5. Controles a efectuar	294
5.1.6. Ejemplos visuales.....	295
5.2. Montaje líneas neumáticas de procesos y accesorios	
para instrumentos	296
5.2.1. Antecedentes	296
5.2.2. Conceptos básicos y ejecución.....	297
5.2.3. Tipo de equipamiento.....	298
5.2.4. Problemas que pueden aparecer.....	298
5.2.5. Controles a efectuar	298
5.2.6. Ejemplos visuales.....	299

- 5.3. Montaje de cajas y cabinas para instrumentos 301
 - 5.3.1. Antecedentes 301
 - 5.3.2. Conceptos básicos y ejecución 301
 - 5.3.3. Tipo de equipamiento 302
 - 5.3.4. Problemas que pueden aparecer 302
 - 5.3.5. Controles a efectuar 303
 - 5.3.6. Ejemplos visuales 303
- 5.4. Montaje de instrumentos 304
 - 5.4.1. Antecedentes 304
 - 5.4.2. Conceptos básicos y ejecución 304
 - 5.4.3. Tipo de equipamiento 305
 - 5.4.4. Problemas que pueden aparecer 305
 - 5.4.5. Controles a efectuar 306
 - 5.4.6. Ejemplos visuales 307
- 5.5. Ajuste y verificación de instrumentos 308
 - 5.5.1. Antecedentes 308
 - 5.5.2. Conceptos básicos y ejecución 309
 - 5.5.3. Tipo de equipamiento 310
 - 5.5.4. Problemas que pueden aparecer 310
 - 5.5.5. Controles a efectuar 311
 - 5.5.6. Ejemplos de esquemas de calibración 311
- 5.6. Control principal 314
 - 5.6.1. Antecedentes 314
 - 5.6.2. Conceptos básicos y ejecución 314
 - 5.6.3. Tipo de equipamiento 315
 - 5.6.4. Problemas que pueden aparecer 316
 - 5.6.5. Controles a efectuar 316
 - 5.6.6. Ejemplos visuales 317

6. PUESTA EN MARCHA 321

- 6.1. Inicio de la puesta en marcha 321
- 6.2. Clasificación por sistemas 322
 - 6.2.1. Tipos de sistemas en central de carbón 323
 - 6.2.2. Sistemas en una central de ciclo combinado 324
 - 6.2.3. Ejemplo de un sistema 325
- 6.3. Procedimientos de seguridad 327
 - 6.3.1. Antecedentes 327
 - 6.3.2. Principales procedimientos de seguridad 328
 - 6.2.3. Difusión e información 330
- 6.4. Transferencia de sistemas de montaje a puesta en marcha 331
 - 6.4.1. Antecedentes 331
 - 6.4.2. Proceso de transferencia 332
 - 6.4.3. Documentación contenida en el proceso de transferencia 333
 - 6.4.4. Problemas que pueden aparecer 333

7. PUESTA EN MARCHA EN FRÍO 335

- 7.1. Organización de la propiedad, implicación de producción 335
 - 7.1.1. General 335

7.1.2. Consideraciones.....	336
7.2. Energización de sistemas eléctricos y de control	337
7.2.1. Sistemas eléctricos.....	337
7.2.2. Puesta en marcha en frío. Concepto.....	339
7.2.3. Puesta en marcha en frío de un sistema. Ejemplo	340
7.2.4. Secuencia de puesta en marcha de los sistemas eléctricos.....	341
7.2.5. Puesta en marcha del sistema de control.....	343
7.3. Flushing y limpiezas mecánicas de tuberías	349
7.3.1. Antecedentes	349
7.3.2. Tipos de limpieza mecánica según fluido	349
7.3.3. Procedimiento de limpieza flushing del sistema de aceite de lubricación	350
7.3.4. Medios a emplear.....	351
7.3.5. Problemas que pueden aparecer.....	352
7.3.6. Criterios de aceptación	352
7.4. Limpieza química	352
7.4.1. Limpieza inicial y enjuague.....	353
7.4.2. Desengrasado.....	354
7.4.3. Lavado químico y enjuague.....	354
7.4.4. Pasivado.....	354
7.4.5. Inertización	355
7.4.6. Precauciones a tener en cuenta y medios necesarios	355
7.4.7. Problemas que pueden aparecer.....	356
7.5. Pruebas de funcionamiento de sistemas	356
7.5.1. Situación de partida.....	356
7.5.2. Proceso de pruebas.....	358
7.5.3. Criterios de aceptación	360
7.6. Soplado de centrales con turbina de vapor.....	360
7.6.1. Tipos de soplado	360
7.6.2. Medios a emplear.....	363
7.6.3. Problemas que pueden aparecer.....	364
7.6.4. Ejemplos visuales.....	365
7.7. Puesta en virador de la turbina	366
7.7.1. Pasos previos a la puesta en virador	367
7.7.2. Descarga de baterías.....	368
7.7.3. Pruebas de sistemas y arranque del virador	369
8. PUESTA EN MARCHA EN CALIENTE	371
8.1. Proceso de arranque de la turbina de gas.....	371
8.1.1. Tipologías más frecuentes.....	371
8.1.2. Sistemas implicados previos al arranque	372
8.1.3. Puesta en marcha en caliente.....	374
8.2. Primera Ignición en caldera	377
8.2.1. Centrales de carbón.....	377
8.2.2. Comprobaciones previas	378
8.2.3. Primera ignición.....	379
8.2.4. Ciclos combinados	379
8.3. Proceso de arranque de la turbina de vapor.....	381
8.3.1. Condiciones previas	381

8.3.2. <i>Primer vapor a turbina</i>	382
8.3.3. <i>Pruebas en carga</i>	383
8.4. Pruebas del alternador y protecciones eléctricas antes de acoplar	383
8.4.1. <i>Condiciones previas</i>	384
8.4.2. <i>Pruebas de protección eléctricas</i>	385
8.4.3. <i>Pruebas de vacío y cortocircuito</i>	388
8.5. Pruebas de sincronización y primer acoplamiento a la red	392
8.5.1. <i>Condiciones previas generales</i>	393
8.5.2. <i>Concepto de sincronización y primer acoplamiento</i>	393
8.5.3. <i>Pruebas de presincronización</i>	396
8.5.4. <i>Primer acoplamiento a red</i>	397
8.6. Pruebas a cargas parciales, plena carga y optimización	400
8.6.1. <i>Pruebas de cargas parciales (load test)</i>	400
8.6.2. <i>Prueba de plena carga</i>	403
8.6.3. <i>Pruebas de optimización</i>	408
8.6.4. <i>Otras pruebas</i>	408
8.7. Pruebas contractuales y de garantías técnicas	409
8.7.1. <i>Pruebas contractuales</i>	409
8.7.2. <i>Pruebas de funcionamiento o de fiabilidad. Prueba de 100 y 720 horas</i>	412
8.7.3. <i>Pruebas de garantías técnicas</i>	415

9. LEGALIZACIONES 427

9.1. Legalizaciones	427
9.1.1. <i>Antecedentes</i>	427
9.1.2. <i>Cómo legalizar una instalación</i>	428
9.1.3. <i>Fases de legalización</i>	429
9.1.4. <i>Reglamentos que obligan a la legalización de las instalaciones</i>	430
9.1.5. <i>Documentación a presentar</i>	431

10. FASE FINAL DE LA OBRA 435

10.1. Documentación final	435
10.1.1. <i>Principales documentos a entregar al final del proyecto</i>	436
10.1.2. <i>Dossier final de fabricación</i>	436
10.1.3. <i>Dossier final de calidad de construcción y montaje</i>	436
10.1.4. <i>Dossier final de puesta en marcha</i>	437
10.1.5. <i>Dossier final de medio ambiente</i>	438
10.1.6. <i>Documentación según construido (as-built)</i>	438
10.1.7. <i>Manuales de operación y mantenimiento</i>	439
10.2. Otros documentos y entrega de repuestos a explotación	439
10.2.1. <i>Otros documentos de interés al final del proyecto</i>	440
10.3. Lecciones aprendidas	444

11. ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS 447

1.1. ORGANIZACIÓN DEL EQUIPO SUPERVISOR DE OBRA

El proyecto de una central térmica tiene tres fases principales: la fase de análisis del negocio, previa a la toma de la decisión de hacer la inversión; la fase de proyecto, en la que se define lo que se quiere hacer; y la fase de obra, en la que se materializa el proyecto.

Durante la fase del proyecto se define cómo se adjudica el mismo, y para el caso de un “llave en mano”, que es el objeto de este libro, desde la dirección del proyecto se configura la organización del equipo que, por parte de la propiedad, ha de supervisar la obra civil, el montaje y la puesta en marcha, aportando este equipo en la especificación técnica elaborada para la petición de ofertas, su experiencia para abordar la fase de obra. Dicha especificación pasará a ser una obligación contractual.

La fase de construcción, montaje y puesta en marcha, engloba, entre otros aspectos, la definición, ejecución y funcionamiento de:

- La infraestructura de obra (redes eléctricas, de alumbrado, aguas, ...).
- Los accesos y su mantenimiento (control de accesos, vallados...).
- El almacén de montaje y su organización, campos de premontaje, ...
- La gestión de residuos.
- Las oficinas, vestuarios, comedor....
- Las demoliciones previas.
- La obra civil.
- El montaje mecánico, eléctrico e I&C.
- La puesta en marcha.
- ...

La dirección y supervisión de la obra, para el caso de un proyecto llave en mano, se aborda con la organización de supervisión de la propiedad y con el equipo de dirección de obra del contratista principal.

En este tipo de proyectos, el equipo supervisor de la obra por parte de la propiedad, tiene como función principal:

- Comprobar que se cumple lo establecido en el contrato en cuanto al avance de la obra, validando la consecución de hitos contractuales que generan pagos.
- Que la obra se ejecuta con la calidad adecuada de acuerdo a las buenas prácticas y normas de referencia establecidas en el contrato.
- Que se cumplen las normas de seguridad y salud laboral acordes con la legislación vigente.
- Que se cumplen los planes de vigilancia ambiental establecidos en el contrato y en especial la limpieza, recogida y gestión de los residuos industriales de acuerdo a lo establecido en el plan de gestión de residuos.
- Hacerse cargo de los repuestos destinados a la explotación que vienen con el suministro de los equipos principales.
- Recopilar la información técnica que se maneja en la obra civil, montaje y puesta en marcha para el adecuado seguimiento y control de la obra y entrega en su día a la explotación de la central, con el fin de que esta tenga todo el historial del montaje y puesta en marcha de los equipos.
- Hacer de puente entre el contratista y la ingeniería del proyecto para resolver posibles discrepancias entre los planos y la situación real en la obra.
- Comprobar que a medida que se van terminando de montar sistemas que requieren autorización (sistema contra incendios, sistemas eléctricos de alta y baja tensión, aparatos a presión, almacenamiento de combustibles, etc.) se elaboran los correspondientes proyectos o separatas del proyecto principal, se presentan ante las autoridades y se obtienen las correspondientes autorizaciones antes de iniciar la puesta en marcha.
- Validar los resultados de los valores obtenidos en las pruebas que determinen las garantías técnicas de los equipos y/o sistemas según van entrando en servicio de acuerdo a lo establecido en el contrato.

Para ejercer estas responsabilidades, el equipo supervisor de la obra por parte de la propiedad tendrá una dimensión acorde con el volumen de la obra: uno, dos o más grupos, el tipo de la obra: ciclo combinado, central de carbón, central termo solar, etc.

La dimensión del equipo supervisor de la propiedad puede oscilar entre quince personas, para el caso de un solo grupo de ciclo combinado, y cuarenta personas en el caso de una central de carbón, ambos contratados en la modalidad “llave en mano”.

A título orientativo se adjunta un organigrama funcional de la propiedad para la supervisión de un ciclo combinado compuesto por dos unidades de 400 MW (Figura 1.1).

En los proyectos llave en mano, el contratista principal lleva el peso de la dirección de la obra, estando integrado en su organización el director facultativo que debe asumir las obligaciones que la legislación asigna a esa figura (dirección del proyecto en la fase de ejecución, disponer del libro de órdenes, validar el replanteo inicial, plantear a la propiedad modificaciones al proyecto, integrarse junto con el coordinador de seguridad y salud en la dirección facultativa de la obra, realizar y firmar los finales de obra tanto parciales, en caso de sistemas que vayan entrando en servicio secuencialmente, como totales al final de la obra, etc.).

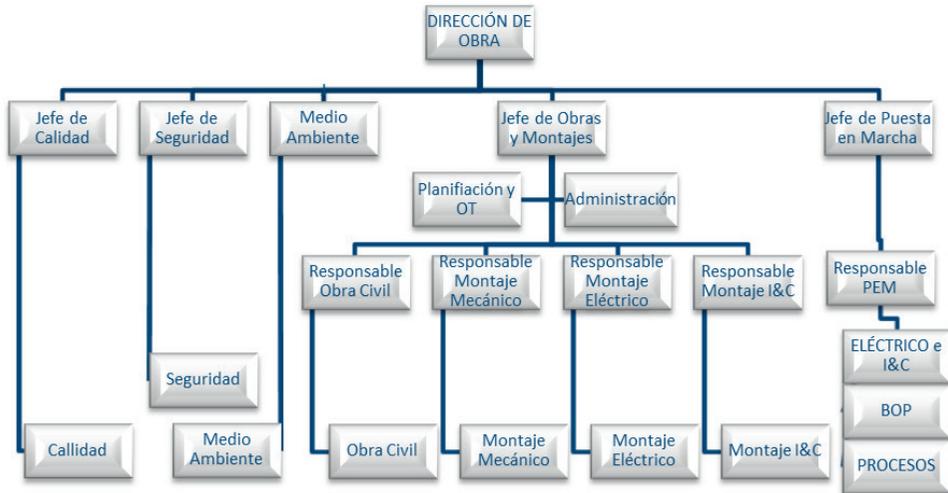


Figura 1.1. Organigrama equipo supervisor de obra y puesta en marcha de la propiedad para un ciclo combinado de 2 x 400 MW.

Existen otras opciones, como puede ser el caso de que la dirección facultativa es aportada por la propiedad, lo cual, unido a la contratación de la coordinación de seguridad y salud (obligatorio por ley que sea contratada o aportada por la propiedad) permite a la propiedad tener un equipo de dirección integrado e independiente del constructor.

Cabe destacar que, independientemente del tipo de contrato u obra, la coordinación de seguridad y salud debe ser contratada por la propiedad, e incluso puede ser personal propio, si reúne las condiciones.

Hay casos en que las autorizaciones de las diferentes administraciones exigen la presencia de un director ambiental que valide lo dispuesto en la declaración de impacto ambiental, sea vigilante y pueda certificar el cumplimiento de lo indicado en el plan de vigilancia ambiental durante la fase de obra, así como la gestión del plan de gestión de residuos. En el caso en que esta función no sea requerida por las diferentes administraciones, la podría ejercer el equipo de supervisión de obra de la propiedad por medio de personal propio o contratando una consultora externa.

El dimensionamiento del equipo dependerá del volumen de la obra, pudiendo oscilar entre 30 y 40 personas. En la Figura 1.2, se indica el organigrama funcional del constructor para el montaje y puesta en marcha de un ciclo combinado de dos unidades de 400 MW.

Si la contratación fuera en la modalidad de grandes paquetes o multicontratos, en ese caso, la propiedad asumiría la dirección de la obra, la coordinación con todos los contratistas y su organigrama de supervisión sería similar al del contratista principal en el contrato llave en mano, con menos personal, ya que la función es de supervisión de los diferentes contratistas, dimensionando cada contratista su organigrama en función del volumen de obra asignada. En este caso la propiedad podría contratar la dirección facultativa, la cual debería asumir los proyectos de las diferentes partes en que se hubiera dividido la obra.

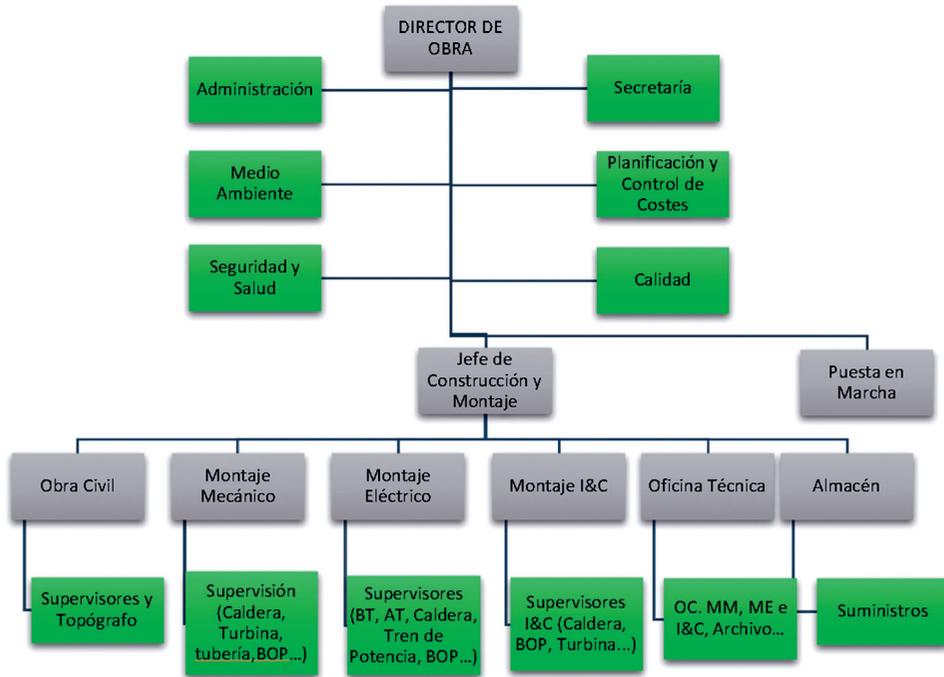


Figura 1.2. Organigrama equipo supervisor de obra del contratista para un ciclo combinado de 2 x 400 MW.

En el caso de las centrales de carbón, los organigramas serían similares a los indicados en los epígrafes anteriores con la inclusión de una unidad en el Área Mecánica para los procesos de manejos de sólidos (carbón, cenizas y escorias) así como otra para tratamiento de gases (desulfuración y desnitrificación), sistemas que por su especial trascendencia se recomienda que tengan supervisión independiente en el área mecánica. El resto de disciplinas (obra civil, montaje eléctrico e I&C...) organizarían estas áreas con la supervisión indicada anteriormente, o reforzada si fuera necesario por el volumen de trabajo.

Para el caso de la puesta en marcha de un ciclo combinado de 2 x 400 MW en la modalidad de llave en mano se propone el organigrama de la Figura 1.3.

Una vez definidos los organigramas de obra, procede elaborar los manuales de organización del proyecto, uno por parte de la propiedad y otro por parte del contratista, los cuales describirán la forma de organizar el proyecto incorporando la descripción de funciones y responsabilidades de cada una de las posiciones del organigrama, la organización de la documentación, la organización de la ejecución del montaje y puesta en marcha, la legalización de los equipos y sistemas, el control de calidad, la seguridad, el cumplimiento de las exigencias medioambientales expresadas en la autorización ambiental de la central, la comunicación entre el contratista y la propiedad, etc., y todo ello dentro del marco del contrato.

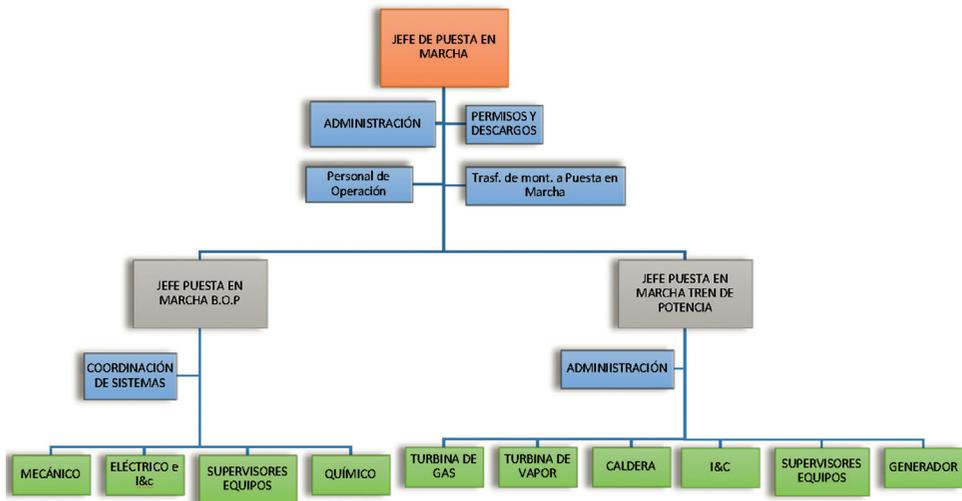


Figura 1.3. Organigrama de puesta en marcha para un ciclo combinado 2 x 400 MW.

Este manual, para un proyecto llave en mano, lo elabora el contratista y lo aprueba la propiedad comprobando que recoge los aspectos contractuales. Si la propiedad tiene un sistema de calidad ISO 9002 o similar deberá hacer su propio manual de organización.

En el caso de una central de carbón (≈ 350 MW) el organigrama de puesta en marcha podría ser el que se indica en la Figura 1.4.

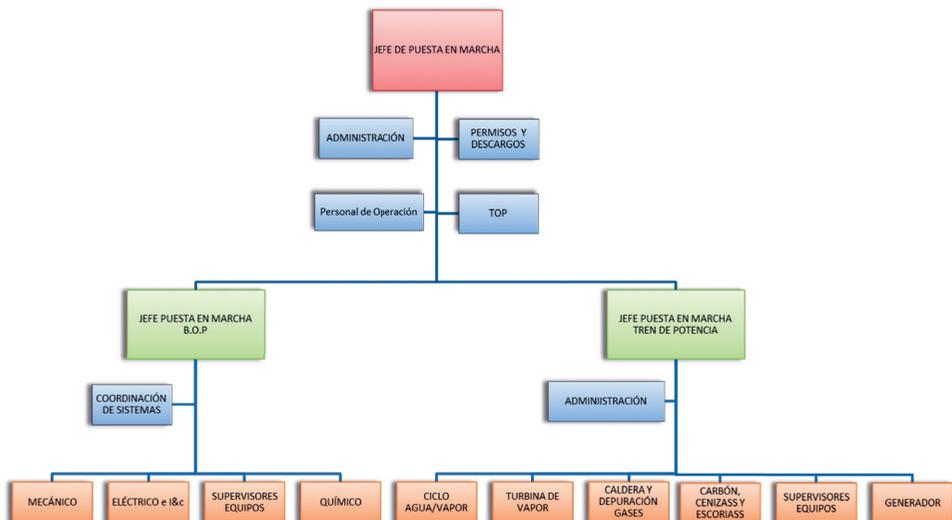


Figura 1.4. Organigrama central térmica de carbón de ≈ 350 MW.

1.2. HERRAMIENTAS DE PROYECTO QUE DEBE TENER EL EQUIPO DE OBRA

En los manuales de organización del proyecto se establece cómo se ha de organizar el proyecto desde la fase previa hasta la operación comercial.

Siguiendo estos manuales, por parte de la propiedad al principio del proyecto, se realiza una reunión de lanzamiento presidida por el director del proyecto, en la que deberá participar el máximo responsable de la unidad de construcción, montaje y puesta en marcha, además de otros integrantes del equipo de proyecto y de la unidad de montaje y puesta en marcha. El objetivo de esta reunión es básicamente dar información por parte del director del proyecto a las diferentes unidades implicadas: ingeniería, construcción, supervisión de montaje y puesta en marcha, aprovisionamientos, etc., de cómo se va a desarrollar el proyecto.

En un proyecto “llave en mano”, por parte del contratista, se realiza una reunión de lanzamiento del proyecto similar explicando cómo se va a desarrollar la construcción, montaje y puesta en marcha siguiendo las pautas de su manual de organización y teniendo en cuenta lo establecido en el contrato en cuanto a desarrollo de la obra, comunicación con la propiedad, etc.

Esta fase del proyecto aún está lejos del momento en que comenzarán los trabajos en el emplazamiento, pero es importante que los equipos implicados comiencen a trabajar, ya que es necesario definir organigramas, realizar contrataciones (con todo el proceso previo de elaboración de especificaciones, concurso y adjudicación), definir la infraestructura de la obra, la logística, los suministros, tramitar licencias locales, etc.

El equipo de obra de la propiedad debe recibir de la dirección del proyecto los siguientes elementos para comenzar a trabajar:

- El proyecto (al menos el utilizado para las tramitaciones, aunque luego se desarrollen nuevas revisiones con mayor detalle).
- Definición clara de los límites del alcance y puntos frontera.
- Estado de contrataciones y gestiones con terceras partes (conexiones a gasoductos, líneas de AT, expropiaciones, vertidos de aguas, captaciones de agua en dominios marítimos...).
- Estudio geotécnico y otros que fuesen necesarios por la peculiaridad del proyecto (estudio de descontaminación de suelos, resistividad...).
- Programa definido, al menos en cuanto a actividades generales.
- Presupuesto disponible y asignación a las diferentes partidas.
- Estado de tramitación de licencias y permisos.
- Estado de tramitación del estudio de impacto ambiental y trámites relacionados (que puedan influir en el desarrollo del futuro plan de vigilancia de la obra).
- Normativa local de especial afección al proyecto.
- Estudio de gestión de residuos del proyecto.

- Estudio de seguridad y salud del proyecto.
- Contrato o contratos principales, así como contratos a realizar por la unidad de obra (con definición de fecha de necesidad) para conocer las garantías técnicas que deben cumplir todas las contrataciones para su verificación en la fase de puesta en marcha.
- Procedimientos de flujo de información a nivel interno (codificaciones, archivo, oficina técnica del proyecto, modificaciones de planos, formatos...) y con los contratistas/proveedores.
- Organigrama completo del equipo de proyecto con definición de funciones y responsabilidades.
- Plan de calidad del proyecto, donde se integrará como un anexo el plan de calidad de obra (si está definido así en el sistema de calidad de la organización).

El equipo de obra del contratista principal debe recibir de la propiedad parte de esta información más la que se especifique en el contrato, y de sus unidades internas de ingeniería y aprovisionamientos, los contratos de equipos para el control de la documentación técnica a recibir, procedimientos de construcción y montaje, fechas contractuales, etc.

A partir de estos documentos, la dirección de proyecto de la propiedad establecerá unos objetivos contractuales a cumplir, que serán la base de actuación del equipo supervisor de la propiedad en relación con la dirección de obra del contratista principal.

Hay que tener en cuenta que algunos documentos iniciales se deberán desarrollar por el equipo supervisor de obra de la propiedad, por ejemplo:

- Planificación detallada de la fase de construcción, montaje y puesta en marcha a partir de las actividades planificadas por el contratista en su oferta e incorporadas en el contrato.
- Contrataciones no incluidas en el contrato “llave en mano”. La dirección de proyecto entrega unos presupuestos que hay que cumplir y la unidad de obras deberá contratar todo aquello que no esté considerado en el alcance del “llave en mano”.
- Plan de calidad en la fase de obra a partir del plan de calidad del proyecto recogido en el contrato.
- Plan de vigilancia ambiental basado en los requisitos impuestos por la administración y los posibles requisitos adicionales de la propiedad recogidos en el contrato.
- El estudio de la gestión de residuos, con el fin de que el contratista desarrolle el plan de gestión de residuos.
- El estudio de seguridad y salud laboral para que el contratista desarrolle el plan de seguridad y salud laboral.

1.3. ASPECTOS CONTRACTUALES Y LEGALES A TENER EN CUENTA EN LA OBRA

Básicamente, antes de comenzar la implantación en obra se deberán tener los permisos necesarios, los cuales, en la mayoría de los casos, son gestionados por la propiedad en las fases previas del proyecto, dando el contratista apoyo en aspectos documentales una vez se haya firmado el contrato.

Al llegar a la fase de obra, el proyecto ha pasado por todas las etapas previas de tramitación y obtención de permisos ambientales, de ocupación de terrenos, obtención de concesiones, de usos de suelo, etc., partiendo de un proyecto inicial básico realizado por la propiedad.

Antes de que los equipos de obra, tanto de la propiedad como del contratista, se desplieguen sobre el terreno, es necesario disponer de una serie de documentos, cuya responsabilidad en su obtención se recogerá en el contrato.

Estos documentos, previos al inicio de las actividades, estarán incluidos en la planificación general del proyecto con el fin de no producir retrasos en el inicio de las obras.

Hay otros documentos necesarios para la legalización de determinados equipos relacionados con la puesta en marcha, que se irán generando por parte del contratista conforme avance la obra.

Se pueden distinguir básicamente dos grupos de documentos:

1. Preparados y entregados por la propiedad al contratista

- Autorizaciones ambientales (Declaración de Impacto Ambiental y Autorización Ambiental Integrada, más autorizaciones medioambientales autonómicas o regionales específicas).
- Licencia de obra menor (para comenzar los primeros trabajos de implantación de infraestructura de obra, excavación y relleno) mientras se tramita la licencia de la obra principal. Con esta licencia se puede obtener autorización para hacer trabajos por debajo del nivel del suelo, lo que permite comenzar los desbroces y excavaciones.
- Licencia de obra para desmantelamiento/demolición (si fuera necesario hacer demoliciones previas).
- Licencia de obra mayor (incluiría todo el proceso de la construcción, montaje y puesta en marcha).
- Autorización provisional de puesta en marcha para pruebas. Esta autorización se concede conforme se van energizando sistemas y legalizando equipos. La documentación necesaria para la misma la suele presentar ante las autoridades el contratista según formatos acordados.
- Autorización de puesta en marcha definitiva (se concede al final de la puesta en marcha). Este documento se obtiene después de la firma del final de obra por parte de la dirección facultativa, dando por finalizada la misma y es el documento que le permite a la propiedad comenzar los trámites para

dar de alta central en el registro de instalaciones de producción de energía eléctrica.

- Si la propiedad ya dispone de un seguro general de construcción y montaje, lo aportará al contratista, y este lo complementa si es necesario para cubrir la franquicia u otros aspectos que no cubra el seguro de la propiedad.
- Estudio de seguridad y salud.
- Estudio de gestión de residuos.
- Aceptación de la dirección facultativa de la obra propuesta por el contratista.
- Nombramiento del Coordinador de Seguridad y Salud.
- Comunicación del final de la coordinación de seguridad y salud.

2. Preparados y entregados por el contratista a la propiedad

- Proyecto de infraestructura de obra (que incluya todas las instalaciones que se han de ejecutar para poder llevar a cabo la obra, tales como control de accesos, infraestructura eléctrica, red de agua, vestuarios, oficinas...). Se debe disponer de un proyecto previo que articule todas estas infraestructuras. En relación a este proyecto se solicita la correspondiente licencia de obra menor.
- Proyecto de demolición y plan de desamiantado (si fuera necesario).
- Seguros.
- Plan de seguridad y salud.
- Plan de gestión de residuos.
- Plan de vigilancia ambiental.
- Propuesta de director facultativo de la obra. (si este servicio lo proporciona el Contratista).
- Comunicación del final de obra (podrá haber finales de obra parciales por sistemas en la fase de puesta en marcha y un final de obra total al final).

1.4. PROGRAMA DE OBRA, MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA

1.4.1. General

Antes de comenzar la obra, se debe tener un programa que comprenda todas las actividades hasta la operación comercial, recogiendo los objetivos y fechas contractuales.

En ocasiones los objetivos de fecha se derivan de condicionantes administrativos –si la instalación no está operativa antes de una fecha se pierde una concesión– o de exigencias empresariales basadas en el plan de negocio, o en posibles modificaciones de leyes que llevan a acelerar un proyecto, o para evitar que la competencia ocupe una posición en un determinado mercado, etc.

En cualquier caso, desde el principio, es necesario disponer de un programa que incluya la suma de todas las actividades que es necesario realizar para conseguir que el proyecto sea una realidad. Estas actividades son las incluidas en el programa

contractual, aunque la propiedad ha realizado previamente tramitaciones administrativas, autorización de concesiones, calificación urbanística de los terrenos, estudios ambientales, etc.

La propiedad, desde la toma de decisión de llevar a cabo el proyecto, debe desarrollar un programa básico con todas las actividades que se han de llevar a cabo y que conforme avanza el proyecto se irán desarrollando en más detalle. Este programa básico inicial constará de:

- Ingeniería conceptual.
- Ingeniería básica.
- Tramitaciones administrativas.
- Seguimiento de condicionados impuestos por las diferentes administraciones.
- Elaboración de las especificaciones técnicas para la contratación “llave en mano”.
- Elaboración del borrador de contrato comercial a negociar con el adjudicatario seleccionado.
- Licitación de la adjudicación “llave en mano”.
- Adjudicación del “llave en mano”.
- Negociación y firma del contrato “llave en mano”.

A partir de la firma del contrato, el contratista adjudicatario debe desarrollar, dentro de sus obligaciones contractuales en cuanto a fechas, el programa de detalle del proyecto que será aprobado o al menos supervisado por la propiedad para comprobar que se adapta a lo estipulado en el contrato.

Este programa consistirá básicamente en:

- Ingeniería básica si hubiera modificaciones recogidas en el contrato respecto a lo que inicialmente la propiedad consideró.
- Ingeniería de detalle.
- Programa de fabricaciones.
- Programa de suministros.
- Plan de transporte incluidos permisos y seguros...
- Plan de construcción (obra civil) y montaje (mecánico, eléctrico e I&C).
- Plan de puesta en marcha: prueba y legalización de equipos y sistemas.
- Plan de formación del personal de operación y mantenimiento.
- Operación comercial.

Si consideramos la fase de obra el esquema básico sería el expuesto en la Figura 1.5.

En el programa de obra deberán estar claramente desarrolladas estas actividades sumarias o principales y, a partir de las mismas, se deberá aumentar el grado de detalle en las sub actividades que dependan de las principales hasta conformar un programa completo que permita hacer un seguimiento adecuado del desarrollo del proyecto.



Figura 1.5. Esquema básico del programa de proyecto elaborado por el contratista.

Como ejemplo, un ciclo combinado 2 x 1 de 225 MW, tiene unas 1.900 actividades solo en la fase de construcción, montaje y puesta en marcha.

El programa desarrollado por el contratista en detalle deberá ser aprobado por la propiedad a nivel general. En el mismo debe quedar claramente identificada la “ruta crítica” y venir indicadas, en consecuencia, las holguras de las que dispone el proyecto en esta fase.

Normalmente este programa puede ser integrado por la propiedad dentro de su propio formato e incorporar al mismo otras actividades que no desarrolle el contratista principal.

1.4.2. Camino crítico

Es la secuencia de actividades enlazadas que determinan la duración de la obra. Se emplea cuando la fecha de finalización no se puede demorar, tratando de sacar la máxima eficiencia en la coordinación de los recursos.

Para determinar la ruta crítica es necesario:

- Definir todas las actividades y su secuencia.
- Establecer las relaciones entre esas actividades, dejando claro cuál es la dependencia entre ellas, decidiendo cuál debe comenzar antes y cuál debe seguir después. La ejecución de actividades en paralelo permite acortar la duración total del proyecto, pero siempre debe tenerse en cuenta su factibilidad en la obra, valorando si es posible que varios grupos de trabajadores puedan coincidir en la misma zona de trabajo al mismo tiempo.
- Construir un diagrama (Gantt), conectando las diferentes actividades según sus relaciones de precedencia (algunas pueden ejecutarse en paralelo y otras en serie).

- Definir la duración estimada para cada una.
- Identificar las actividades críticas, que serán aquellas que formen la ruta crítica.
- Identificar la ruta crítica mediante líneas de color que resalten el camino. Esta es la trayectoria más larga del proyecto y determina el tiempo total requerido para su ejecución.
- Asignar la fecha final del proyecto a la última actividad de la ruta.

La duración de las actividades que forman la ruta crítica, determina la duración de la obra. La holgura en el camino crítico es 0. Puede haber varias rutas críticas en el caso en que se modifiquen las relaciones de precedencia y duración de las actividades, esta es una posibilidad que el Director del Proyecto debe evaluar para disponer de alternativas (que a su vez generarían caminos críticos diferentes).

La holgura de una actividad individualmente sería la reserva de tiempo para iniciarla o terminarla sin afectar a la duración de la obra. En algunos proyectos complejos se dan pares de fechas, la temprana y la tardía, cuya diferencia para esta actividad nos determinaría su holgura. Este planteamiento le da más flexibilidad al Director del Proyecto para determinar el camino crítico que mejor se adapte a los plazos del proyecto, reajustando los recursos.

Como ejemplo se indica en rojo el camino o ruta crítica de una obra real (Figura 1.6).

Se observa que hay una relación de precedencia entre actividades, es decir, una actividad de las coloreadas en rojo siempre tiene que esperar su inicio a la finalización de la precedente.

Las actividades azules no tendrían una rigidez temporal para su ejecución, siendo posible disponer de un adicional de tiempo (holgura).

1.4.3. Seguimiento

Tanto la propiedad como el contratista necesitan conocer al día el grado de avance de la obra con el fin de poder tomar las medidas oportunas ante una desviación de los trabajos programados.

Para que los avances explicitados reflejen el avance real de la obra, es fundamental que las actividades tengan asignado un peso correcto que se debe basar en el número de horas hombre realizadas en cada actividad, en la valoración económica de las mismas y en la incidencia que dicha actividad tenga sobre la fecha final. Un ejemplo viene dado por la actividad de instrumentación y control, cuyo valor económico y el número de horas hombre a realizar no es alto, pero tiene mucha importancia en el avance de la obra, ya que bloquea la realización de otras actividades que tienen más peso en la consecución de la fecha final, como por ejemplo las de puesta en marcha. Una buena estimación del avance se obtiene por la asignación de pesos en porcentaje según la complejidad de las actividades, asignación que la hará el programador según su experiencia.

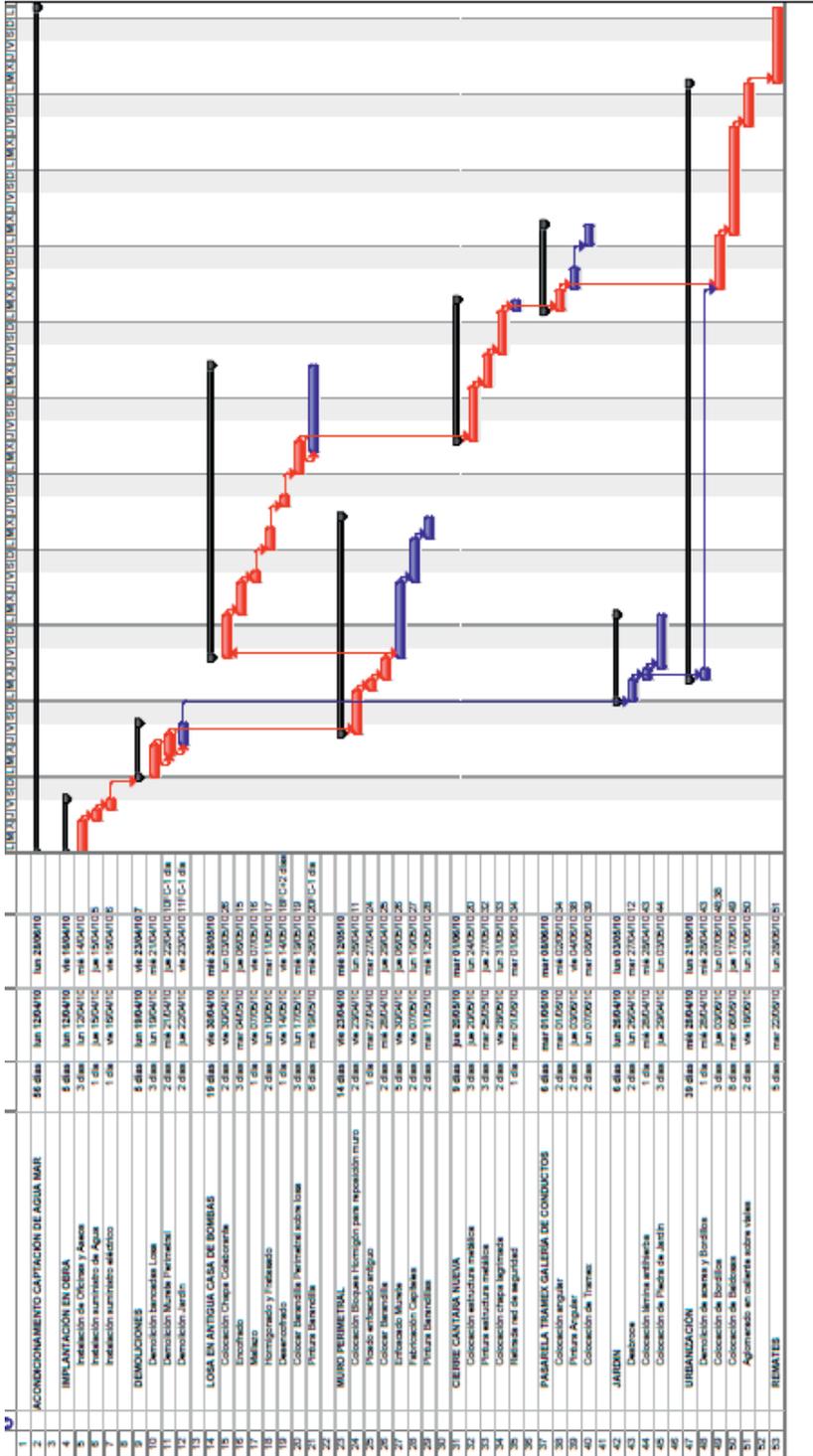


Figura 1.6. Camino crítico (en rojo) de una obra real.

En la Figura 1.9. (que corresponde a una parte truncada de un programa) se puede observar una parte de un programa donde la curva roja representa el avance real de la obra actualizado al mes en estudio (junio 2008), la verde es la curva temprana y la azul la tardía. En este caso se observa que el avance del mes es correcto y la obra marcha sin retrasos conservando la holgura que en ese mes es de unos quince días como se puede observar en el eje de abscisas.

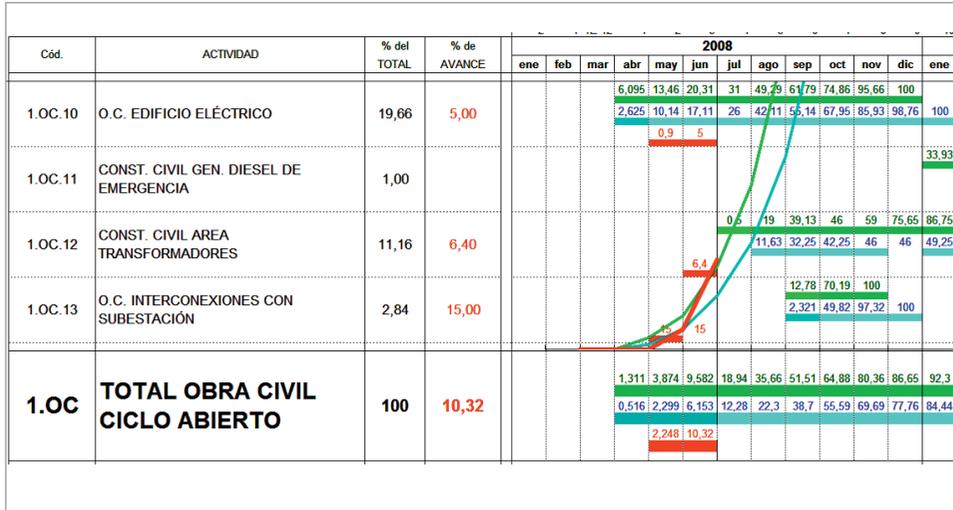


Figura 1.9. Ejemplo real de curvas de avance temprana, tardío y real.

Si la obra se retrasa se hará una nueva revisión del programa con los nuevos recursos y medidas a emplear para recuperar el retraso.

La actualización, consensuada todos los meses, de los avances permite conocer los retrasos y tomar medidas con suficiente antelación. La programación se convierte así en un arma de gran importancia en el devenir de la obra.

1.5. PLANTEAMIENTO DE LA SEGURIDAD Y SALUD EN OBRA

1.5.1. General

Si bien el planteamiento de las estrategias de seguridad y salud a seguir en un proyecto son cuestiones que ya están definidas en gran parte por las obligaciones legales, hoy en día todas las empresas, ya sean promotor o proveedor de obras y servicios, van más allá del cumplimiento estricto de las leyes y reglamentos.

Es muy frecuente que las empresas tengan políticas en materia de seguridad y salud laboral que emanan de los máximos órganos de gobierno de las mismas y que se impongan en todas las estructuras y niveles jerárquicos.

Los objetivos son reducir la siniestralidad laboral y mejorar de forma progresiva y continua los niveles de seguridad y salud en el trabajo. Estos objetivos llevan