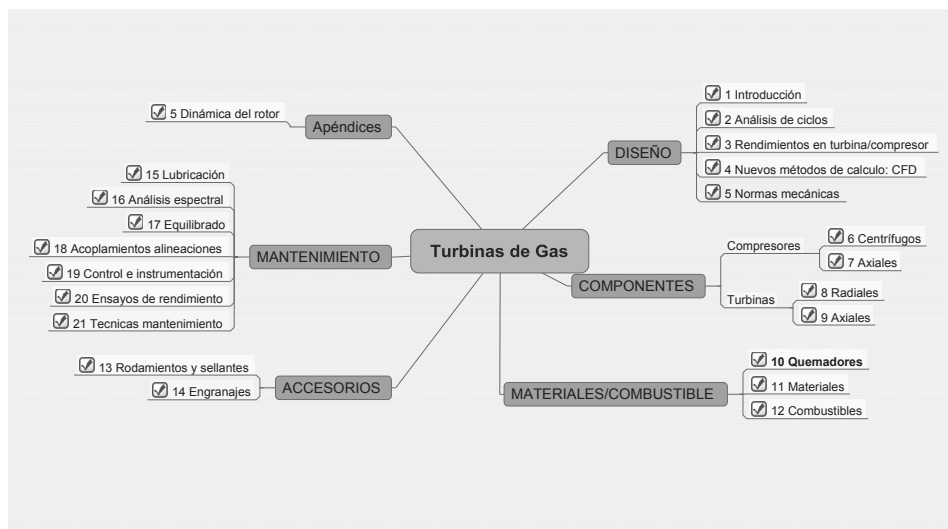


Índice



Capítulo 1. Introducción a las turbinas de gas

11

1.1 Ciclo de las turbinas de gas en el modo de ciclo combinado o de cogeneración....	12
1.2 Rendimiento de la turbina de gas.....	14
1.3 Consideraciones de diseño de las turbinas de gas	15
1.4 Tipos de turbinas de gas	20
1.4.1 Turbinas de gas pesadas	20
1.4.2 Turbinas de gas aeroderivadas	21
1.4.3 Turbinas de gas tipo industrial	23
1.4.4 Pequeñas turbinas de gas	25
1.4.5 Microturbinas	26
1.5 Compresores.....	28
1.5.1 Compresores axiales	30
1.5.2 Compresores centrífugos	30
1.6 Regeneradores	32
1.7 Quemadores.....	32
1.7.1 Típicas disposiciones de quemadores.....	35

1.8 Tipos de combustible.....	38
1.9 Efectos medioambientales	40
1.10 Turbina con sección de expansión	41
1.10.1 Turbinas de flujo de entrada axial.....	41
1.10.2 Turbina de flujo mixto.....	41
1.10.3 Turbina de flujo axial	42
1.11 Materiales.....	43
1.12 Capas.....	45
1.13 Turbinas de gas con recuperación de calor	45
1.14 Quemado suplementario de los sistemas de reuperación de calor	48
1.15 Instrumentación y controles.....	49

Capítulo 2. Análisis de ciclos teóricos y reales 51

2.1 El ciclo Brayton.....	51
2.2 Efecto de regeneración	54
2.3 Efectos de interenfriamiento y el recalentamiento.....	56
2.3.1 Análisis del ciclo real.....	58
2.3.2 El ciclo real	59
2.4 El ciclo sencillo de eje partido	61
2.4.1 El ciclo regenerativo.....	62
2.4.2 Ciclo sencillo interenfriado	63
2.4.3 El ciclo de recalentamiento.....	64
2.4.4 El ciclo de recalentamiento regenerativo con interenfriador.....	65
2.5 El ciclo de inyección de vapor.....	65
2.6 El ciclo regenerativo y evaporativo	68
2.7 El ciclo Brayton-Rankine.....	70
2.7.1 Análisis de suma de ciclo.....	72
2.8 Visión general de las plantas de ciclo combinado.....	73
2.8.1 Ciclo de almacenamiento de la energía del aire comprimido.....	79
2.9 Aumento de potencia.....	80

Capítulo 3. Rendimiento en compresores y turbinas 93

3.1 Aerodinámica de las turbomáquinas.....	93
3.1.1 Gas ideal.....	94
3.2 Ecuaciones aerotermas	97
3.2.1 Ecuación de continuidad	97
3.2.2 La ecuación del momento	97
3.2.3 La ecuación de la energía.....	99
3.3 Eficiencias.....	100

3.3.1 Eficiencia adiabática	100
3.4 Análisis dimensional	103
3.5 Características de rendimiento de un compresor.....	107
3.6 Características de rendimiento de una turbina	108
3.6.1 Cálculo del rendimiento de una turbina de gas	109

Capítulo 4. El método CFD 115

4.1 Introducción.....	115
4.2 Elementos del sistema de diseño	116
4.2.1 Representación paramétrica	116
4.2.2 Construcción de la geometría.....	117
4.2.3 Generación de mallas	117
4.2.4 La solución CFD	118
4.2.5 Extracción de los datos y evaluación funcional.....	119
4.2.6 Optimización.....	119
4.2.7 CFD adjunto	120
4.3 Diseño de aplicaciones	120
4.3.1 Optimización de los vanos guía del conducto de by-pass	121
4.3.2 Optimización del by-pass OGV usando el adjunto CFD.....	122
4.3.3 Optimización de una etapa de un compresor.....	124
4.3.4 Minimización de la respuesta forzada de la turbina usando transitorio lineal CFD	126
4.3.5 Diseño de ventiladores con bajo nivel de ruido	128
4.4 Conclusiones.....	130

Capítulo 5. Rendimiento y normas 131

5.1 Variables principales para una aplicación de turbinas de gas.....	131
5.2 Normas de rendimiento	136
5.3 Parámetros mecánicos	138
5.4 Aplicación de las normas mecánicas a las turbinas de gas	141

Capítulo 6. Compresores centrífugos 155

6.1 Componentes de un compresor centrífugo.....	156
6.1.1 Vanos guía a la entrada del inductor.....	161
6.1.2 Impulsor	163
6.1.3 Inductor.....	166
6.1.4 Sección centrífuga de un impulsor.....	166
6.1.5 Causas del deslizamiento en el impulsor.....	168
6.1.6 Factor de deslizamiento de Stodola	170
6.1.7 Factor de deslizamiento Stanitz	171
6.1.8 Difusores	172

6.1.9 Voluta o colector (scroll)	174
6.2 Rendimiento del compresor centrífugo	175
6.2.1 Pérdidas en el rotor	176
6.2.2 Pérdidas en el estator	179
6.3 Surge del compresor (bombeo)	180
6.4 Compresores centrífugos en industrias de proceso	187

Capítulo 7. Compresores axiales 193

7.1 Introducción.....	193
7.2 Nomenclatura álabe y cascada.....	196
7.3 Teoría elemental de los álabes.....	197
7.4 Álabes con flujo laminar	199
7.5 Ensayos de cascada.....	200
7.6 Triángulos de velocidades	202
7.7 Grado de reacción	204
7.8 Equilibrio radial	207
7.9 Regla de incidencia	208
7.10 Regla de desviación	210
7.11 Características de funcionamiento de un compresor	213
7.12 El choke del compresor	217
7.13 Análisis del stall de un compresor centrífugo	222

Capítulo 8. Turbinas radiales 225

8.1 Descripción	226
8.2 Teoría.....	228
8.3 Consideraciones de diseño	232
8.4 Pérdidas en una turbina de entrada radial.....	234
8.5 Rendimientos en una turbina de entrada radial.....	234

Capítulo 9. Turbinas axiales 237

9.1 Geometría de la turbina	237
9.2 Turbina de impulso.....	243
9.3 La turbina de reacción.....	245
9.4 Conceptos de refrigeración de los álabes de las turbinas.....	248
9.5 Diseño de la refrigeración de los álabes de la turbina	250
9.6 Aerodinámica de las turbinas refrigeradas	256
9.7 Pérdidas en la turbina	257

Capítulo 10. Cámaras de combustión 261

10.1 Términos usados en la combustión	263
10.2 Combustión.....	263

10.3 Diseño de la cámara de combustión.....	265
10.4 Problemas de contaminación del aire	277
10.5 Combustión catalítica	285

Capítulo 11. Materiales 289

11.1 Materiales de las turbinas de gas.....	297
11.2 Álabes del compresor	301
11.3 Forjados y ensayos no destructivos	301
11.4 Capas.....	303

Capítulo 12. Combustibles 309

12.1 Especificaciones de combustible	312
12.2 Propiedades del combustible	315
12.3 Tratamiento del combustible.....	318
12.4 Combustibles pesados	323
12.5 Economía del combustible.....	327
12.6 Experiencia de funcionamiento	328
12.7 Tipos de sistemas de trazado de calor	330
12.8 Almacenamiento de líquidos.....	332

Capítulo 13. Rodamientos y sellos 335

13.1 Rodamientos	335
13.2 Principios de diseño de los apoyos	342
13.3 Cojinetes inclinados	346
13.4 Materiales de apoyo.....	348
13.5 Inestabilidades en los apoyos y en el eje	349
13.6 Apoyos de empuje	350
13.7 Factores que afectan al diseño de apoyos con empuje	351
13.8 Sellos	353
13.9 Sellados sin contacto o de holgura	354
13.9.1 Sellados de laberinto.....	354
13.9.2 Sellantes de anillo (Bushing)	357
13.10 Sellantes mecánicos (Cara).....	359
13.11 Selección y aplicación del sellante mecánico	363
13.12 Sistemas de sellado	366
13.13 Sistemas de aceite asociados.....	367
13.14 Sellantes de gas seco	368

Capítulo 14. Engranajes 373

14.1 Tipos de engranajes	374
--------------------------------	-----

14.2 Factores que afectan al diseño del engranaje	375
14.3 Procesos de fabricación	381
14.4 Instalación y funcionamiento inicial	383

Capítulo 15. Lubricación 387

15.1 Sistema de aceite básico	387
15.2 Muestreo y pruebas en el aceite	394
15.3 Contaminación del aceite	394
15.4 Selección del filtro	395
15.5 Limpieza y aclarado	397
15.6 Acoplamiento de la lubricación	398
15.7 Programa de gestión de la lubricación	399

Capítulo 16. Análisis espectral 401

16.1 Medición de la vibración	405
16.2 Datos en cinta	408
16.3 Interpretación de los espectros de vibración	409
16.4 Análisis vibratorio subsíncrono usando RTA	413
16.5 Espectro síncrono y armónico	415

Capítulo 17. Equilibrado 421

17.1 Equilibrado del rotor	421
17.2 Aplicación de las técnicas de equilibrado	430
17.3 Guía de usuario para el equilibrado multiplano	433

Capítulo 18. Acoplamiento y alineaciones 435

18.1 Acoplamientos de engranajes	437
18.2 Acoplamientos de diafragmas metálicos	443
18.3 Acoplamientos de disco metálico	445
18.4 Uprates en turbomaquinaria	447
18.5 Alineación de ejes	450

Capítulo 19. Control e instrumentación 457

19.1 Sistemas de control e instrumentación	458
19.2 Software de supervisión	469
19.3 Costes del ciclo de vida	475
19.4 Medición de la temperatura	481
19.5 Medición de la presión	483
19.6 Medición de la vibración	483
19.7 Supervisión del sistema auxiliar	486

19.8 La turbina de gas.....	490
19.9 Diagnósticos de fallo.....	494
19.10 Diagnósticos de los problemas mecánicos	499
19.11 Resumen	501

Capítulo 20. Pruebas de rendimiento **503**

20.1 Introducción.....	503
20.2 Códigos de rendimiento.....	504
20.3 Enderezadores de flujo.....	505
20.4 Pruebas en la turbina de gas.....	510
20.5 Turbina de gas	511
20.6 Curvas de rendimiento.....	514
20.7 Cálculos de rendimiento	515
20.8 Cálculo del rendimiento de la turbina de gas.....	518
20.9 Pérdidas en la planta	525

Capítulo 21. Técnicas de mantenimiento **527**

21.1 Filosofía del mantenimiento	527
21.2 Entrenamiento de personal.....	534
21.2.1 Tipo de personal	534
21.2.2 Tipos de entrenamiento	535
21.3 Herramientas y equipo de obra	538
21.4 Limpieza de la turbomaquinaria	548
21.5 Mantenimiento de la sección-caliente	550
21.6 Mantenimiento del compresor.....	552
21.7 Mantenimiento de los apoyos	553
21.8 Mantenimiento del acoplamiento.....	557
21.9 Rejuvenecimiento de álabes usados en las turbinas	557
21.10 Reparación y rehabilitación de los fundamentos de la turbomaquinaria.....	559
21.11 Procedimiento de arranque con gran maquinaria	561
21.12 Problemas típicos encontrados en las turbinas de gas	562

Anexo A. Dinámica del rotor **569**

A.1 Análisis matemático.....	569
A.2 Aplicación a las maquinarias rotativas	580
A.3 Cálculo de las velocidades críticas en los sistemas rotor rodamiento.....	582
A.4 Sistemas y analogías electromecánicas	585
A.5 Diagrama Campbell.....	595