

ÍNDICE

INTRODUÇÃO 15

PREFÁCIO 17

1. COMPRESSORES

- 1.1 Introdução à manutenção 19
 - 1.1.1 Conceitos de manutenção 21
 - 1.1.2 Manutenção preditiva 22
 - 1.1.3 Conceitos de confiabilidade 24
 - 1.1.3.1 Confiabilidade na manutenção 26
 - 1.1.3.2 Confiabilidade na produção 27
 - 1.1.3.3 Confiabilidade humana 28
- 1.2 Tipos de compressores e limites de capacidade 29
 - 1.2.1 Compressores de deslocamento positivo 30
 - 1.2.2 Compressores dinâmicos 33

2. COMPRESSORES ALTERNATIVOS – Conceitos gerais

- 2.1 Modelos mais utilizados 35
 - 2.1.1 Compressores de simples e duplo efeito 36
- 2.2 Componentes básicos 37
 - 2.2.1 Conjunto de acionamento 37
 - 2.2.2 Conjunto de compressão 37
 - 2.2.3 Sistemas auxiliares 38
- 2.3 Influência das condições operacionais 41
 - 2.3.1 Diminuição da pressão de sucção 42
 - 2.3.2 Aumento da pressão de descarga 42
 - 2.3.3 Aumento da temperatura de sucção 42
 - 2.3.4 Efeito da pressão de sucção na potência requerida do 42
- 2.4 Análise do diagrama pressão x volume (PV) 43
- 2.5 Diagrama PV afetado pela abertura das válvulas 45
- 2.6 Diagrama PV afetado pelo efeito das fugas pelas válvulas 46
- 2.7 Eficiência volumétrica 47
- 2.8 Compressão dos gases 48
 - 2.8.1 Compressão isotérmica 48
 - 2.8.2 Compressão adiabática 49
 - 2.8.3 Compressão real 49
- 2.9 Reversão de esforços na haste 50
 - 2.9.1 Efeito da inércia no esforço sobre a haste 51
 - 2.9.2 Efeito da reversão no mancal do pino da cruzeta 52
 - 2.9.3 Mudança na reversão de esforços devido à falha de válvula 53

- 2.9.4 Falha de válvula de descarga no lado externo 52
- 2.9.5 Balanceamento dos esforços 55
- 2.10 Compressão em mais de um estágio 57

3. COMPRESSORES ALTERNATIVOS – Controle de capacidade

- 3.1 Estrangulamento na sucção 60
- 3.2 Recirculação do gás de volta para a sucção 61
- 3.3 Variação do espaço morto 61
- 3.4 Alívio das válvulas de sucção 64
- 3.5 Desvio para sucção através do descarregador 65
- 3.6 Variação de velocidade 66
- 3.7 Controle contínuo 66
- 3.8 Parada e partida do acionador 67
- 3.9 Controles combinados 68

4. COMPRESSORES ALTERNATIVOS – Descrição do conjunto de acionamento

- 4.1 Carcaça 69
 - 4.1.1 Corpo intermediário 71
 - 4.1.2 Barra estabilizadora 73
- 4.2 Mancais 74
 - 4.2.1 Mancais do virabrequim 75
 - 4.2.2 Mancais de biela 76
 - 4.2.3 Mancal do pé da biela 78
 - 4.2.4 Mancal da cruzeta 78
- 4.3 Virabrequim 79
 - 4.3.1 Flexibilidade do virabrequim 80
 - 4.3.2 Empeno do virabrequim 80
 - 4.3.3 Cuidados com novos eixos 81
 - 4.3.4 Volante 81
- 4.4 Biela 82
 - 4.5 Cruzeta 83
 - 4.5.1 Guia da cruzeta 83
 - 4.5.2 Porca da cruzeta 85
 - 4.5.3 Posição de funcionamento (*Uprunning e Downrunning*) 86

5. COMPRESSORES ALTERNATIVOS – Descrição do conjunto de compressão

- 5.1. Cilindro 88
 - 5.1.1 Posição dos cilindros 89
 - 5.1.2 Teste hidrostático no cilindro 92
 - 5.1.3 Espaço morto 93
 - 5.1.4 Distribuição do espaço morto 94

5.2	Válvulas do cilindro	95
5.2.1	Tipos de Válvulas	97
5.2.1.1	Válvulas polarizadas	98
5.2.1.2	Válvula com disco metálico	98
5.2.1.3	Válvula com disco e anéis termoplásticos	99
5.2.1.4	Válvula concêntrica	100
5.2.1.5	Válvula <i>POPPETS</i>	101
5.2.1.6	Válvula <i>Magnum</i>	102
5.2.2	Falhas em válvulas	103
5.3	Camisa	104
5.3.1	Materiais	105
5.3.2	Armazenagem da camisa	106
5.4	Haste do pistão	106
5.4.1	Tipos de fixação da haste	107
5.4.2	Material da haste	108
5.4.3	Endurecimento superficial da haste	108
5.5	Selagens do compressor	109
5.5.1	Engaxetamento	109
5.5.1.1	Tipos de anéis utilizados na selagem	112
5.5.1.2	Lubrificação do engaxetamento	116
5.5.2	Raspador de óleo	116
5.5.3	Selagem intermediária	119
5.5.4	Anéis de pistão	120
5.5.4.1	Anel-Guia	121
5.5.4.2	Anel de compressão	122
5.5.4.3	Amaciamento	124
5.5.4.4	Anéis sobre medida	126
5.5.4.5	Tipos de rasgos dos anéis	126
5.5.4.6	Material dos anéis do pistão	126
5.6	Pistão	128
5.6.1	Tipos de construção de pistão	129
5.6.2	Pistão sob medida	131

6. COMPRESSORES ALTERNATIVOS – Descrição dos componentes e sistemas auxiliares

6.1	Garrafas e linhas de sucção e descarga	132
6.1.1	Garrafas de pulsação	132
6.1.2	Separadores e purgadores	133
6.1.3	Linha de sucção	134
6.1.4	Linha de descarga	134
6.2	Válvulas de linha	135
6.2.1	Válvulas de segurança	135
6.2.2	Válvula de retenção da linha de descarga	136
6.2.2.1	Tipos	136
6.2.2.2	Válvulas com discos inclinados	137
6.2.2.3	Válvulas com elemento de elevação	137
6.2.2.4	Válvulas com discos e molas	139
6.2.3	Válvula de bloqueio	141
6.3	Sistema de monitoração e proteção	141
6.4	Sistema de refrigeração	141
6.4.1	Refrigeração do cilindro	142

6.4.1.1	Calço hidráulico	145
6.4.2	Refrigeração do engaxetamento	146
6.4.2.1	Refrigeração forçada com água	147
6.4.2.2	Refrigeração forçada com óleo	147
6.4.2.3	Refrigeração com termo sifão	147
6.4.3	Refrigeração do gás entre ou após os estágios (<i>intercooler ou aftercooler</i>)	147
6.5	Sistema de lubrificação	149
6.5.1	Lubrificação do conjunto de acionamento	149
6.5.2	Lubrificador mecânico	153
6.5.3	Lubrificação do cilindro	155
6.5.4	Lubrificação do engaxetamento da haste	156
6.5.5	Compressores não lubrificados	157

7. COMPRESSORES ALTERNATIVOS

MANUTENÇÃO – Procedimentos de pré-parada e desmontagem

7.1	Tarefas de pré-parada	159
7.2	Tarefas durante a parada da máquina	161
7.3	Liberação e isolamento da máquina	161
7.4	Drenagem do óleo de lubrificação	162
7.5	Remoção dos instrumentos	164
7.6	Remoção das garrafas	164
7.7	Remoção/desconexão das tubulações auxiliares	165
7.8	Remoção das BVs(boca de visita)	165
7.9	Remoção das válvulas	166
7.10	Medição do espaço morto entre pistão e as tampas	167
7.11	Remoção das tampas dos cilindros e carcaça	169
7.12	Medição das folgas do pistão na camisa	169
7.13	Remoção da bomba principal de lubrificação	170
7.14	Medição do <i>run-out</i> da haste	170
7.15	Remoção das câmaras de espaço morto	175
7.16	Remoção das tampas dos mancais do virabrequim	175
7.17	Remoção das bielas	176
7.18	Verificação da deflexão do virabrequim	177
7.19	Remoção do conjunto pistão e haste	178
7.20	Remoção dos engaxetamentos	178
7.21	Desacoplar eixos (acionador/acionado)	179
7.22	Remover virabrequim	181
7.23	Remover cruzeta	181
7.24	Remover cilindro para remoção da camisa	184

8. COMPRESSORES ALTERNATIVOS

MANUTENÇÃO – Procedimentos de Levantamento dimensional e recuperação dos componentes

8.1	Medir mancais móveis (mancais do pé e da cabeça da biela)	187
-----	---	-----

8.2 Medir mancais fixos (mancais do eixo de manivelas) 188	9.7.3 Manutenção da porca do pistão 247
8.2.1 Medição de folga em mancal de casquilho 190	9.7.4 Montagem do pistão na haste 249
8.3 Medir pino da cruzeta 193	9.8 Preparar selagens 250
8.4 Medir eixo de manivela 194	9.9 Preparar válvulas 250
8.5 Medir haste e pistão 194	9.10 Preparar bomba de óleo 251
8.6 Medir o alojamento e os anéis do pistão 196	9.11 Preparar instrumentos 251
8.7 Medir camisa 199	9.12 Verificar trocadores e indicadores de temperatura 251
8.8 Medir e inspecionar cruzeta 199	9.13 Fazer inspeção nos vasos de sucção e descarga 251
8.9 Inspecionar o lubrificador mecânico 201	9.14 Limpeza das linhas 252
8.10 Revisar bomba de óleo 201	
8.11 Revisar o engaxetamento (selagem da haste) 202	10. COMPRESSORES ALTERNATIVOS
8.11.1 Vedação do fundo do engaxetamento 204	MANUTENÇÃO – Procedimentos de montagem
8.11.2 Sedes separadoras 205	10.1 Instalar as cruzetas 253
8.11.3 Cuidados com a selagem durante paradas prolongadas 207	10.2 Instalar mancais fixos 254
8.11.4 Recondicionamento da caixa de engaxetamento 208	10.3 Instalar eixo de manivelas 255
8.11.5 Cuidados com a selagem na partida após manutenção 211	10.4 Medir folga radial e axial 255
8.12 Revisar válvula 212	10.5 Medir a deflexão do eixo 256
8.12.1 Recuperação de válvulas 212	10.6 Instalar as bielas 257
8.12.2 Recuperação dos alojamentos de válvulas 217	10.6.1 Montagem da biela na máquina 257
8.12.3 Falhas em válvulas 220	10.6.2 Aperto dos parafusos da biela 259
8.12.4 Quebra de anéis pelo uso do garfo descarregador 222	10.7 Acoplar e alinhar o compressor com o motor 259
8.13 Trocadores de calor: limpar, Inspecionar e testar 223	10.8 Medir novamente a deflexão do eixo 259
	10.9 Instalar os engaxetamentos 260
9. COMPRESSORES ALTERNATIVOS	10.10 Instalar os raspadores de óleo 261
MANUTENÇÃO – Procedimentos de preparação dos componentes	10.11 Instalar conjunto haste e pistão 262
9.1 Preparar carcaça e guias da cruzeta 226	10.12 Instalar anéis no pistão 264
9.2 Preparar e recuperar a camisa do cilindro 227	10.13 Instalar porca da cruzeta (sem o torque final) 264
9.2.1 Usinagem do diâmetro interno 227	10.14 Distribuir as folgas do espaço morto 266
9.2.2 Usinagem do diâmetro externo 228	10.15 Centralizar e aplicar torque final na porca da cruzeta 267
9.2.3 Brunimento 229	10.16 Medir o <i>Run-out</i> da haste, vertical e lateral 268
9.2.4 Impregnação com PTFE e amaciamento 229	10.17 Instalar válvulas 268
9.2.5 Tipos de montagem e procedimento de troca 230	10.18 Instalar tampas da carcaça e a bomba de óleo 270
9.2.5.1 Camisa flangeada 230	10.19 Medir a folga radial entre o pistão e a camisa 271
9.2.5.2 Camisa prensada 231	10.20 Boas práticas de manutenção 271
9.2.5.3 Congelamento da camisa 231	
9.2.5.4 Recipiente para congelamento 232	11. COMPRESSORES ALTERNATIVOS
9.3 Preparar mancais 232	MANUTENÇÃO – Procedimentos de pré-teste e partida
9.4 Preparar o virabrequim 236	11.1 Tarefas de pré-teste 273
9.5 Preparar cruzetas e porcas 239	11.1.1 Colocar óleo no cárter 273
9.5.1 Manutenção da cruzeta 239	11.1.2 Fazer <i>flushing</i> nos sistemas 274
9.5.2 Manutenção da porca da cruzeta 242	11.1.3 Instalar as tampas de visita do cárter 276
9.6 Preparar bielas 243	11.1.4 Instalar todas as linhas auxiliares 276
9.6.1 Manutenção das bielas 243	11.1.5 Testar o lubrificador mecânico 276
9.7 Preparar haste e pistão 244	11.1.6 Testar o engaxetamento da haste 276
9.7.1 Recuperação da haste 244	11.1.7 Instalar instrumentos 277
9.7.2 Manutenção do pistão 245	

- 11.1.8 Remover raquetes das linhas. 277
- 11.1.9 Pressurizar o cilindro com gás inerte e procurar por vazamentos 277
- 11.2 Tarefas de partida 277
- 11.3 Tarefas de pós - manutenção 279
- 11.3.1 Acompanhar por alguns dias atentamente as variáveis da máquina 279
- 11.3.2 Fazer as compras dos sobressalentes que foram utilizados na última manutenção 279

12. COMPRESSORES ALTERNATIVOS – Análise de falhas

- 12.1 Compressor batendo 281
- 12.2 Pressão intermediária muito alta 281
- 12.3 Pressão intermediária muito baixa 282
- 12.4 Temperatura do gás muito alta na descarga 282
- 12.5 Queda da pressão de óleo 282
- 12.6 Temperatura do gás muito alta na descarga 283
- 12.7 Temperatura alta em alguma válvula 283
- 12.8 Vazamento excessivo pelo engaxetamento 283
- 12.9 Aquecimento excessivo do engaxetamento 284
- 12.10 Muito resíduo de carbono nas válvulas 284
- 12.11 Falha de válvula de sucção 284
- 12.12 Falha de válvula de descarga 285

13. COMPRESSORES CENTRÍFUGOS –

Fundamentos

- 13.1 Introdução 286
- 13.1.1 Compressores dinâmicos 287
- 13.1.2 Compressores centrífugos 288
- 13.2 Limites operacionais 288
- 13.2.1 Surge 289
- 13.2.2 Controle antissurge 290
- 13.2.3 *Stonewall* 292
- 13.3 Sistemas de proteção 292
- 13.4 Características construtivas 293
- 13.4.1 Carcaça partida na horizontal 293
- 13.4.2 Carcaça partida na vertical 294
- 13.4.3 Layout das tubulações 294
- 13.4.3.1 Preparação para *flushing* 296
- 13.5 Fluxo do gás 296
- 13.5.1 Rotor de fluxo direto 298
- 13.5.2 Rotor de fluxo direto, com entrada e saída lateral 300
- 13.5.3 Rotor de fluxo composto 300
- 13.5.4 Rotor de duplo fluxo 301
- 13.5.5 Rotor de fluxo back-to-back 303

14. COMPRESSORES CENTRÍFUGOS –

Componentes estacionários

- 14.1 Carcaça 304

- 14.2 Corpo de aletas-guia (IGV) 306
- 14.3 Diafragmas 307
- 14.4 Difusores 309
- 14.5 Espaçadores de carcaça 311
- 14.6 Selagem Interna 312
- 14.7 Mancais 316
- 14.7.1 Manuseio de mancais 320

15. COMPRESSORES CENTRÍFUGOS –

Componentes rotativos

- 15.1 Rotor 322
- 15.2 Inspeção para armazenagem dos rotores 325
- 15.2.1 Relatório de inspeção visual 325
- 15.2.2 Levantamento dimensional geral do rotor 326
- 15.2.3 Levantamento dimensional da região dos selos 327
- 15.2.4 Levantamento dimensional da região do acoplamento 327
- 15.2.5 Levantamento dimensional da região dos mancais 328
- 15.2.6 Posição axial dos impelidores 329
- 15.2.7 *Run-out* elétrico da região dos probes 329
- 15.2.8 *Run-out* mecânico axial 330
- 15.2.9 *Run-out* mecânico radial 330
- 15.2.10 Checagem de balanceamento 331
- 15.2.11 Checagem de magnetismo 331
- 15.3 Eixo 331
- 15.4 Impelidores 332
- 15.4.1 Desbalanceamento natural dos impelidores 334
- 15.5 Tambor de balanceamento 336
- 15.5.1 Empuxo axial 338
- 15.5.2 Selo central 338
- 15.6 Acoplamento 340
- 15.6.1 Acoplamento de engrenagem 340
- 15.6.2 Acoplamento de diafragma flexível 341
- 15.6.3 Acoplamento de discos flexíveis 342
- 15.6.4 Montagem do cubo do acoplamento no eixo 343
- 15.6.5 Fixação hidráulica de acoplamento 344
- 15.6.5.1 Cuidados na montagem hidráulica 344

16. COMPRESSORES CENTRÍFUGOS – Selagem

do eixo

- 16.1 Selo seco a gás 347
- 16.1.1 Princípio de funcionamento 347
- 16.1.2 Arranjos de montagem 351
- 16.1.3 Vedações secundárias 354
- 16.1.4 Tipos de faces 355
- 16.1.5 Selo separador óleo/gás 357
- 16.1.6 Sistema de controle 358
- 16.2 Selo de labirinto 359
- 16.3 Selo de anéis flutuantes em L 361
- 16.4 Selo de anéis flutuantes de redução simples 363

16.5 Selo de anéis flutuantes com dupla redução	363	18.1.1 Remoção da chaveta circular “ <i>shear ring</i> ”	405
16.6 Selo de anéis flutuantes com sapatas oscilantes	364	18.2 Levantamento dimensional da condição encontrada	406
16.7 Selo de anéis flutuantes com bucha cônica	365	18.3 Remoção do barril	406
16.8 Selo de Contato	366	18.4 Remoção dos diafragmas e corpos de aletas-guia (IGV)	407
16.9 Selo de contato com anel de carvão flutuante	367	18.5 Desmontagem completa do barril e lavagem das peças	408
16.10 Selo de anéis segmentados	368	18.6 Levantamento dimensional	410
16.11 Sistema de óleo de selagem	369	18.7 Determinar a posição do rotor “ <i>overlap</i> ”	411
17. COMPRESSOR CENTRÍFUGO –			
<u>Manutenção parcial (mancais e selos)</u>			
17.1 Tarefas de preparação da manutenção	373	18.8 Montar o barril, inserir na carcaça principal e instalar a tampa	414
17.1.1 Planejamento	373	18.9 Determinar a posição correta da escora	416
17.1.2 Formação da equipe	374	18.10 Medição da posição axial do rotor	416
17.1.3 Recomendações	375	18.10.1 Medir passeio axial com escora	417
17.1.4 Sobressalentes	375	18.10.1.1 Medir primeiro contato para cada lado	417
17.1.5 Dispositivos e ferramentas	376	18.10.1.2 Medir passeio axial sem escora	418
17.1.6 Materiais de consumo	377	 	
17.2 Início dos trabalhos na máquina	377	19. COMPRESSOR CENTRÍFUGO –	
17.2.1 Preparação do local	377	<u>Manutenção em máquina com bipartição horizontal</u>	
17.2.2 Limpeza externa da máquina	378	19.1 Remoção da carcaça superior	419
17.2.3 Remoção de linhas e periféricos	378	19.2 Remoção dos componentes internos	421
17.3 Desacoplar conjunto	379	19.3 Limpeza e preparação dos componentes para montagem	421
17.3.1 Remoção e instalação de cubo chavetado	379	19.4 Verificação das folgas dos labirintos no rotor	421
17.3.2 Remoção e instalação de cubo por meio hidráulico	380	19.5 Preparação das faces	422
17.3.3 Tabela de interferência	382	19.6 Fechamento do compressor com selante líquido	423
17.3.4 Cuidados na montagem hidráulica	382	19.7 Montagem dos mancais e periféricos	427
17.3.5 Medição da posição axial do rotor	382	19.8 Ajustes finais de campo	427
17.4 Remoção e revisão dos mancais	383	19.8.1 Alinhamento	427
17.4.1 Remoção do disco de escora	384	19.8.2 Chavetas e parafusos de posicionamento	429
17.4.2 Medir folga do mancal radial	385	19.8.3 Dilatação da máquina	429
17.4.2.1 Medir folga entre mancal e telha	385	 	
17.4.2.2 Levantamento dimensional de mancal radial de sapatas	386	20. FIXAÇÃO MECÂNICA PARA	
17.4.2.3 Medir folga com alavanca	387	<u>COMPRESSORES – dispositivos e ferramentas</u>	
17.4.2.4 Medir folga em mancal cilíndrico (casquilho)	391	20.1 Parafusos e porcas	430
17.4.2.5 Medir folga em mancais com assento esférico	391	20.2 Remoção e inspeção	432
17.4.2.6 Desmontagem e preparação dos mancais	392	20.3 Porca da cruzeta	433
17.4.2.7 Inspeção nas sapatas oscilantes	395	20.4 Fixação do corpo intermediário de compressor alternativo	436
17.5 Remoção e revisão dos selos	397	20.5 Métodos para aplicar torque	438
17.5.1 Remoção, inspeção e montagem de selo seco a gás (DGS)	397	20.5.1 Método convencional e pneumático	438
17.5.2 Desmontagem de selo de anéis flutuantes	400	20.5.2 Torque hidráulico	439
17.5.3 Desmontagem de selo de contato	401	20.5.3 <i>Superbolt</i>	440
18. COMPRESSOR CENTRÍFUGO –			
<u>Manutenção em máquina partidas na vertical</u>			
18.1 Remoção da tampa	402	20.5.4 Aquecimento	441
REFERÊNCIAS			
443			