

Sumário

| | |
|-------------------------------------|------|
| Prefácio | VII |
| Abreviaturas e Definições | XI |
| Simbologia | XIII |

CAPÍTULO 1

Características Termodinâmicas Preliminares de Ciclo Fechado com Turbina a Gás

| | |
|---|----|
| 1.1 Hipóteses | 2 |
| 1.2 Equacionamento | 5 |
| 1.3 Análises e Comentários | 8 |
| 1.3.1 Hipóteses | 8 |
| 1.3.2 Ciclos térmicos sem perdas e sem recuperação de calor – $\eta_R = 0$ | 9 |
| 1.3.3 Ciclos térmicos sem perdas e com recuperação de calor – $\eta_R = 1$ | 14 |
| 1.3.4 Ciclos térmicos com perdas e sem recuperação de calor – $\eta_R = 0$ | 16 |
| 1.3.5 Ciclos térmicos com perdas e com recuperação de calor – $\eta_R = 0,78$ | 20 |
| 1.4 Algoritmo e Validação | 22 |
| 1.4.1 Considerações gerais | 22 |
| 1.4.2 Algoritmo | 23 |
| 1.4.3 Aplicação | 27 |
| 1.4.4 Considerações e comentários | 32 |

CAPÍTULO 2

Características Termodinâmicas Práticas, Perdas, Rendimentos, Diagramas Energéticos e Exergéticos de Plantas com Turbina a Gás em Ciclo Aberto

| | |
|--|----|
| 2.1 Características Estabelecidas para o Início do Cálculo Termodinâmico | 34 |
| 2.1.1 Considerações gerais | 34 |
| 2.1.2 Coeficientes adimensionais | 39 |
| 2.2 Cálculos Termodinâmicos Preliminares | 40 |
| 2.2.1 Turbocompressor | 40 |



| | | |
|-------|--|----|
| 2.2.2 | Turbina a gás. | 40 |
| 2.2.3 | Recuperador de calor. | 42 |
| 2.2.4 | Massas dos fluidos em circulação e rendimentos | 42 |
| 2.2.5 | Volumes em escoamentos e diâmetros | 43 |
| 2.3 | Algoritmo e Validação | 44 |
| 2.3.1 | Considerações gerais | 44 |
| 2.3.2 | Algoritmo | 44 |
| 2.3.3 | Aplicação. | 56 |
| 2.3.4 | Considerações e comentários | 66 |
| 2.4 | Perdas Energéticas e Rendimento de Plantas a Gás | 67 |
| 2.4.1 | Identificação das perdas energéticas de plantas a gás | 67 |
| 2.4.2 | Rendimentos de plantas a gás. | 68 |
| 2.4.3 | Potência útil e rendimento mecânico de plantas a gás | 69 |
| 2.4.4 | Perdas e rendimentos nos sistemas que interligam máquinas e aparelhos de plantas a gás | 70 |
| 2.4.5 | Algoritmo | 73 |
| 2.4.6 | Aplicação. | 74 |
| 2.4.7 | Considerações e comentários | 76 |
| 2.5 | Balances Energético e Exergético | 77 |
| 2.5.1 | Trabalho máximo – Capacidade de trabalho | 77 |
| 2.5.2 | Energia – Exergia – Anergia | 80 |
| 2.5.3 | Diagramas de energias e de exergias – Rendimento e grau de reversibilidade | 81 |
| 2.5.4 | Algoritmo para a obtenção das características para o traçado dos diagramas de energias e de exergias | 83 |

CAPÍTULO 3

| | | |
|--|---|-----|
| <i>Cálculo e Projeto Preliminar de Câmara de Combustão</i> | <i>107</i> | |
| 3.1 | Considerações Gerais. | 108 |
| 3.1.1 | Requisitos para o bom desempenho de uma <i>CC</i> | 108 |
| 3.1.2 | Concepção básica para o projeto de uma <i>CC</i> | 108 |
| 3.2 | Equacionamento | 111 |
| 3.3 | Algoritmo para um Cálculo Preliminar | 112 |
| 3.3.1 | Dados de entrada. | 112 |
| 3.3.2 | Valores fixados preliminarmente. | 112 |
| 3.3.3 | Roteiro e deliberações | 113 |
| 3.4 | Validação do Algoritmo | 114 |
| 3.4.1 | Dados de entrada. | 114 |
| 3.4.2 | Valores fixados preliminarmente. | 114 |
| 3.4.3 | Cálculos e deliberações | 115 |
| 3.5 | Considerações e Comentários. | 118 |

**CAPÍTULO 4***Canal Térmico do Escoamento, Número de Estágios, Perdas e Rendimentos em Turbinas a Gás e em Turbocompressores.*

| | | |
|-------|---|-----|
| 4.1 | Canal Térmico do Escoamento | 119 |
| 4.2 | Número de Estágios | 124 |
| 4.3 | Algoritmo para o Cálculo do Número de Estágios e das Características Térmicas e Geométricas Básicas do Canal do <i>TC</i> , Estágio por Estágio | 127 |
| 4.3.1 | Hipóteses | 127 |
| 4.3.2 | Dados de entrada. | 127 |
| 4.3.3 | Cálculos e decisões | 127 |
| 4.3.4 | Aplicação do algoritmo para o <i>TC</i> | 130 |
| 4.4 | Algoritmo para o Cálculo do Número de Estágios e das Características Térmicas e Geométricas Básicas do Canal da <i>TG</i> , Estágio por Estágio | 136 |
| 4.4.1 | Dados de entrada. | 136 |
| 4.4.2 | Cálculos e decisões | 136 |
| 4.4.3 | Aplicações do algoritmo para a <i>TG</i> | 139 |
| 4.4.4 | Considerações e comentários | 148 |
| 4.5 | Perdas e Rendimentos no <i>TC</i> e na <i>TG</i> | 150 |
| 4.5.1 | Perda e rendimento relativo interno no <i>TC</i> e na <i>TG</i> | 150 |
| 4.5.2 | Perdas e rendimentos nos trechos de entrada e saída do <i>TC</i> e da <i>TG</i> | 151 |
| 4.5.3 | Perda e rendimento interno em estágio de <i>TC</i> e da <i>TG</i> | 153 |
| 4.5.4 | Perdas por fugas | 156 |

CAPÍTULO 5*Cálculos e Desenhos dos Estágios de Turbina a Gás e de Turbocompressores.*

| | | |
|-------|--|-----|
| 5.1 | Fundamentos da Base Teórica | 166 |
| 5.2 | Conceitos Cinemáticos | 168 |
| 5.3 | Equações de Euler para Estágios de <i>TG</i> e de <i>TC</i> | 168 |
| 5.3.1 | Considerações gerais e hipóteses | 168 |
| 5.3.2 | Equações de Euler para estágio ideal de <i>TG</i> e de <i>TC</i> | 170 |
| 5.3.3 | Equações de Euler para escoamento real em <i>TG</i> e <i>TC</i> | 171 |
| 5.4 | Grau de Reação do Estágio | 178 |
| 5.5 | Relação entre u/c_4 em Função do ρ_{te} e do η_{ie} do Estágio | 179 |
| 5.5.1 | Considerações gerais | 179 |
| 5.5.2 | Equacionamento | 180 |
| 5.5.3 | Estágios de ação pura. | 181 |
| 5.5.4 | Estágio de reação intermediária | 183 |
| 5.5.5 | Estágio de reação pura. | 184 |
| 5.5.6 | Considerações e comentários | 186 |
| 5.6 | Injetores e Difusores | 187 |
| 5.7 | Espessura de Aletas e Pás. | 188 |



| | | |
|--------|---|-----|
| 5.8 | Geometria na Direção Radial | 190 |
| 5.8.1 | Vórtice potencial | 190 |
| 5.8.2 | Roteiro com aplicação numérica | 191 |
| 5.8.3 | Considerações e comentários | 192 |
| 5.9 | Número de Pás e de Aletas | 195 |
| 5.10 | Geometria das Seções Transversais | 196 |
| 5.10.1 | Considerações gerais | 196 |
| 5.10.2 | Pás e aletas de espessura constante. | 196 |
| 5.10.3 | Perfis. | 197 |
| 5.11 | Obtenção das Grades a Partir dos Perfis | 200 |
| 5.11.1 | Dados e considerações gerais | 200 |
| 5.11.2 | Traçado da linha média do perfil | 201 |
| 5.11.3 | Roteiro para o traçado do perfil e da grade | 203 |
| 5.11.4 | Observação | 205 |
| 5.12 | Traçado de Canal, Pá e Grade para Estágio de Ação | 205 |
| 5.12.1 | Dados de entrada. | 205 |
| 5.12.2 | Roteiro e decisões | 206 |
| 5.13 | Traçado das Projeções de Grades sobre Superfícies Cilíndricas. | 207 |
| 5.14 | Algoritmo para a Determinação das Características dos Estágios de Ação de <i>TG</i> | 209 |
| 5.14.1 | Considerações gerais | 209 |
| 5.14.2 | Dados de entrada. | 210 |
| 5.14.3 | Roteiro e decisões | 211 |
| 5.14.4 | Aplicação. | 216 |
| 5.15 | Algoritmo para a Determinação das Características dos Estágios de Reação de <i>TG</i> | 228 |
| 5.15.1 | Considerações gerais | 228 |
| 5.15.2 | Dados de entrada. | 229 |
| 5.15.3 | Roteiro e decisões | 229 |
| 5.15.4 | Aplicação para estágios de reação. | 235 |
| 5.16 | Algoritmo para a Determinação da Torção Radial de Aletas e Pás | 245 |
| 5.16.1 | Considerações gerais | 245 |
| 5.16.2 | Dados de entrada. | 246 |
| 5.16.3 | Roteiro para os estágio de <i>TG</i> | 248 |
| 5.16.4 | Aplicação. | 249 |
| 5.16.5 | Considerações e comentários | 256 |
| 5.17 | Algoritmo para a Determinação das Características dos Estágios de <i>TC</i> | 257 |
| 5.17.1 | Considerações gerais | 257 |
| 5.17.2 | Dados de entrada. | 259 |
| 5.17.3 | Roteiro e decisões | 260 |
| 5.17.4 | Aplicação. | 264 |
| 5.17.5 | Torção radial de pás e aletas | 271 |
| 5.17.6 | Traçado de perfis, grades e estágio. | 276 |
| 5.18 | Comentários Gerais | 280 |

**CAPÍTULO 6**

| | |
|---|-----|
| <i>Cálculo e Projeto de Recuperadores de Calor</i> | 283 |
| 6.1 Generalidades | 284 |
| 6.2 Equacionamento | 285 |
| 6.2.1 Fundamentos | 285 |
| 6.2.2 Diferença logarítmica de temperaturas | 288 |
| 6.2.3 Fatores de capacidade e de efetividade | 288 |
| 6.2.4 Coeficiente total de transmissão de calor | 291 |
| 6.2.5 Coeficiente de transmissão de calor por convecção | 294 |
| 6.3 Cálculo Termodinâmico e Características Geométricas para o Projeto Básico de Transmissores de Calor | 294 |
| 6.3.1 Considerações gerais | 294 |
| 6.3.2 Limitações para os <i>RC</i> das plantas de geração de energia elétrica | 295 |
| 6.3.3 Determinação de números e coeficientes adimensionais | 298 |
| 6.4 Algoritmo para Cálculo Preliminar de <i>RC</i> de Correntes Paralelas | 304 |
| 6.4.1 Considerações gerais | 304 |
| 6.4.2 Dados fixados | 304 |
| 6.4.3 Dados fixados preliminarmente | 304 |
| 6.4.4 Roteiro e decisões | 304 |
| 6.4.5 Validação | 309 |
| 6.4.6 Desenhos básicos | 313 |
| 6.4.7 Considerações e Comentários | 315 |
| 6.5 Algoritmo para o Cálculo Preliminar de <i>RC</i> de Correntes Cruzadas | 315 |
| 6.5.1 Considerações gerais | 315 |
| 6.5.2 Dados fixados | 316 |
| 6.5.3 Dados fixados preliminarmente | 316 |
| 6.5.4 Roteiro e decisões | 316 |
| 6.5.5 Validação | 321 |
| 6.5.6 Desenhos básicos | 326 |
| 6.5.7 Considerações e comentários | 328 |
| 6.6 Perdas Energéticas em Recuperadores de Calor | 329 |
| 6.6.1 Considerações sobre perdas energéticas e rendimentos de <i>RC</i> | 329 |
| 6.6.2 Equacionamento para o método direto | 329 |
| 6.6.3 Equacionamento para o Método Indireto | 330 |
| 6.6.4 Algoritmo para a determinação das perdas energéticas no <i>RC</i> pelo método direto | 337 |
| 6.6.5 Algoritmo para a determinação das perdas energéticas no <i>RC</i> pelo método indireto | 340 |

CAPÍTULO 7

| | |
|--|-----|
| <i>Projeto Preliminar da Planta</i> | 351 |
| 7.1 Recomendações Gerais para Estudos e Implantação de uma Planta de Geração com <i>TG</i> | 352 |
| 7.1.1 No sítio de implantação e em sua área de abrangência | 352 |
| 7.1.2 Na área coberta da planta | 353 |



| | | |
|-------|---|-----|
| 7.2 | Possibilidades de Arranjo dos Componentes da Planta | 353 |
| 7.2.1 | Modos de arranjos dos componentes, necessidades e recomendações | 353 |
| 7.2.2 | Arranjo com <i>RC</i> horizontais e <i>CC</i> verticais. | 355 |
| 7.2.3 | Arranjo com <i>RC</i> verticais e <i>CC</i> horizontais. | 358 |
| 7.2.4 | Arranjo com <i>RC</i> e <i>CC</i> horizontais | 362 |
| 7.3 | Monitoramento | 365 |
| | Anexo | 367 |
| | Referências. | 375 |
| | Índice Remissivo. | 379 |