
Sumário

Capítulo 1

Introdução	1
Referências	8

Capítulo 2

Exergia – A Qualidade da Energia	9
2.1 Conceito de Exergia	9
2.1.1 Análise Exergética	15
2.1.2 Método de Análise	16

Capítulo 3

Eficiência Energética em Máquinas de Fluxo Comuns	19
3.1 Conceituação e Classificação	19
3.2 Relação Máquina-Sistema	20
3.3 Análise Termodinâmica	21
3.4 Rendimento Termodinâmico	25
3.5 Rendimento Mecânico	27
3.6 Potência Transferida ou Absorvida do Escoamento	28
3.7 Cálculo da Potência Demandada para Compressão	29
3.8 Cálculo da Potência Demandada para Bombeio	35
3.9 Cálculo do Consumo de Combustível em Máquinas de Fluxo Motrizes	40
3.10 Controle de Capacidade	42
3.10.1 Ajuste e Controle Automático de Capacidade de Bombas Centrífugas	43

3.10.2	Ajuste e Controle Automático de Capacidade de Compressores.....	57
3.11	Recomendações e Boas Práticas em Eficiência Energética.....	74
3.12	Problemas Típicos.....	81
	Referências.....	86
 <i>Capítulo 4</i>		
	Eficiência Energética Aplicada a Sistemas Elétricos Industriais.....	87
4.1	Introdução.....	87
4.2	Parâmetros de Análise.....	88
4.3	Conceitos Básicos Relacionados ao Cálculo de Potência Elétrica....	89
4.3.1	Definições de Grandezas Elétricas Fundamentais.....	89
4.3.2	Corrente Contínua CC e Corrente Alternada CA.....	90
4.3.3	Sistema Elétrico de CA.....	91
4.3.4	Potências Ativa e Reativa.....	93
4.3.5	Fator de Potência.....	97
4.3.6	Circuitos Trifásicos.....	98
4.4	Sistema Elétrico Industrial.....	100
4.5	Análise da Eficiência Energética em Sistemas Elétricos Industriais..	104
4.5.1	Considerações Gerais.....	104
4.5.2	Considerações Úteis e Boas Práticas de Eficiência Energética para um Sistema Elétrico Industrial.....	105
	Referência.....	108
 <i>Capítulo 5</i>		
	Caldeiras e Sistemas de Vapor.....	109
5.1	Classificações das Caldeiras.....	110
5.1.1	Conforme o Conteúdo nos Tubos.....	110
5.1.2	Classificação das Caldeiras conforme a Finalidade.....	112
5.2	Teoria da Combustão.....	113
5.2.1	Triângulo do Fogo.....	113
5.2.2	Elementos Necessários à Manutenção da Chama (Três T's) ...	114
5.2.3	Poder Calorífico.....	115
5.2.4	Reações da Combustão.....	115

5.2.4	Estequiometria da Combustão.....	116
5.3	Combustão em Caldeiras	118
5.3.1	Cálculo da Relação Ar/Combustível e Excesso de Ar	120
5.3.2	Análise dos Gases da Combustão	122
5.4	Controle da Caldeira com Analisador de Oxigênio	124
5.5	Eficiência Térmica da Caldeira.....	126
5.5.1	Tipos de Eficiência e Métodos para o seu Cálculo	127
5.5.2	Método Direto ou Entrada-Saída.....	128
5.5.3	Método Indireto, das Perdas ou Método do Balanço de Energia	128
5.6	Tiragem.....	130
5.7	Preaquecimento de Ar.....	132
5.8	Caldeira de Recuperação de Calor – HRSG.....	133
5.9	Fatores que Afetam a Eficiência – Recomendações	134
5.9.1	Projeto e Aquisição de Caldeiras	135
5.9.2	Operação de Caldeiras.....	138
 <i>Capítulo 6</i>		
Medida de Grandezas Necessárias para Acompanhamento de Eficiência Energética.....		
		141
6.1	Considerações Iniciais	141
6.2	Pontos Essenciais de Medição para Análise de Eficiência Energética .	142
6.3	Boas Práticas de Medição	143
 <i>Capítulo 7</i>		
Eficiência Energética em Instalações de Produção de Petróleo		
		149
7.1	Conceito de Eficiência Energética em Instalações de Produção de Petróleo.....	150
7.2	Instalações de Produção de Petróleo	150
7.2.1	Unidades Fixas	150
7.2.2	Unidades Semissubmersíveis (SS).....	151
7.2.3	Unidades do Tipo <i>Floating Processing, Storage and Offloading Unit</i> (FPSO).....	152

7.2.4	Sistema de Tratamento e Transferência de Petróleo	153
7.2.5	Sistema de Compressão de Gás	155
7.2.6	Sistema de Geração de Energia Elétrica e Água Quente	157
7.3	Políticas e Diretrizes Gerenciais para um Programa de Eficiência Energética em Instalações de Produção de Petróleo.....	159
7.4	Boas Práticas de Eficiência Energética em Instalações de Produção ..	164
7.5	Limitação Tecnológica Atual e Questões para o Futuro	178
7.5.1	Utilização de Ciclo Combinado para o Sistema Principal de Conversão de Energia	178
7.5.2	Intensificação e Evolução de Utilização de Ciclos de Cogeração	181
7.5.3	Recuperação de Energia do Gás Aquecido nos Sistemas de Compressão.....	183
7.5.4	Recuperação da Energia Natural dos Poços Produtores de Petróleo e Gás.....	185
7.5.5	Intensificação de Transferência de Calor.....	186
7.5.6	Utilização de Fontes de Energia Renovável	186
7.6	Referência Teórica de Eficiência Exergética de uma Instalação de Produção de Petróleo	187
	Referência.....	189
 <i>Capítulo 8</i>		
	Centrais Termelétricas	191
8.1	Centrais Termelétricas do Ciclo Rankine	191
8.1.1	Ciclo Rankine com Reaquecimento	197
8.1.2	Ciclo Rankine Regenerativo.....	199
8.1.3	Ciclo Rankine Regenerativo com Reaquecimento.....	200
8.1.4	Ciclo Rankine Orgânico.....	201
8.1.5	Ciclo Rankine Supercrítico	201
8.1.6	Casas de Força	203
8.1.7	Turbogeradores a Vapor para Centrais Termelétricas	211
8.1.8	Pureza de Vapor e Água de Alimentação de Caldeira.....	213
8.2	Centrais Termelétricas de Ciclo Combinado (CCPP)	214

8.2.1	Ciclo Combinado com um Nível de Pressão	216
8.2.2	Ciclo Combinado com Dois ou Três Níveis de Pressão	216
8.2.3	Queima Suplementar	217
8.2.4	Pré-Resfriamento do Ar de Admissão do TGG	218
8.2.5	TGG com Regeneração ou Recuperação de Calor	219
8.2.6	Razão de Compressão e Temperatura de Admissão da Turbina.	220
8.2.7	Preaquecimento do Gás Combustível	222
8.2.8	Lavagem de Compressores de TGG	222
8.2.9	Queima de Combustíveis com Enxofre	223
8.2.10	Abafadores de Chaminés	224
8.3	Cogeração com Turbinas a Gás	224
8.4	Centrais Termelétricas com Motores de Combustão Interna	226
8.5	Fatores de Desempenho de UTE de Uso Corrente na Indústria	228
8.5.1	Fatores de Desempenho de Cogeração	230
8.5.2	Eficiência Exergética	232
8.5.3	Exemplo Prático	235
8.6	Boas Práticas	238
	Referências	238

Capítulo 9

Controle de Emissões Atmosféricas	239
9.1 Aspectos Gerais	239
9.1.1 Definição do Impacto Ambiental	239
9.1.2 Poluentes Atmosféricos – Visão Geral	240
9.1.3 Efeito Estufa	241
9.1.4 Chuva Ácida	242
9.2 Emissões Poluentes Resultantes da Combustão Industrial	243
9.2.1 Óxidos de Nitrogênio (NO _x)	243
9.2.2 Material Particulado (MP)	247
9.2.3 Óxidos de Enxofre (SO _x)	248
9.2.4 Monóxido de Carbono (CO)	249
9.2.5 Compostos Orgânicos Voláteis (VOC)	249
9.3 Tecnologias de Abatimento de Emissões	250

9.3.1	Sistemas de Redução de NO_x	250
9.3.2	Sistemas de Redução de MP	261
9.3.3	Sistemas de Redução de SO_x	264
9.4	Controle	266
9.5	Boas Práticas e Recomendações para Projetos.....	267
	Referências.....	269

Capítulo 10

Métodos de Análise Sistêmica para Aumento da Eficiência em Unidades Industriais		271
10.1	Balanco de Massa e Energia	271
10.2	Análise <i>Pinch</i> para Integração Energética de Processos	273
10.2.1	Extração de Dados	274
10.2.2	Determinação da Meta de Energia.....	274
10.2.3	Determinação da Rede de Trocadores de Calor.....	276
10.2.4	Regras de Síntese	277
10.3	Análise Exergética.....	278
10.3.1	Eficiência Exergética da UTE e seus Componentes.....	279
10.4	Considerações Finais	291

Anexo

Termodinâmica Básica		293
A.1	Introdução.....	293
A.2	Introdução ao Equilíbrio Termodinâmico e Fluxo de Energia.....	294
A.3	Conceitos Básicos	296
A.3.1	Fluido e seu Comportamento Termodinâmico.....	296
A.3.2	Componentes e Sistemas Térmicos	297
A.3.3	Sistema e Volume de Controle	298
A.3.4	Propriedades Termodinâmicas.....	299
A.3.5	Estado Termodinâmico.....	301
A.3.6	Equação de Estado.....	302
A.3.7	Processos Termodinâmicos.....	302
A.3.8	Substâncias Puras ou Misturas.....	306

A.3.9	Equilíbrio de Fases de uma Substância Pura	306
A.3.10	Lei Zero da Termodinâmica.....	308
A.3.11	Energia, Calor e Trabalho	310
A.3.12	Primeira Lei da Termodinâmica.....	312
A.3.13	Comportamento Idealizado dos Fluidos	315
A.3.14	Segunda Lei da Termodinâmica	318
A.3.15	Rendimentos e Ciclos Termodinâmicos	334
	Referências.....	343
	Índice Remissivo.....	345