

ESTUDO DE UMA INSTALAÇÃO DE PRODUÇÃO DE *VAPOR A PELLETS*

Jesus Augusto Barroso Rodrigues Alves

2º ANO

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



ESTUDO DE UMA INSTALAÇÃO DE PRODUÇÃO DE VAPOR A *PELLETS*

Jesus Augusto Barroso Rodrigues Alves
1020202

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, ramo Energia, realizada sob a orientação do Prof. Doutor Leonardo José da Silva Ribeiro

2º ANO

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



JÚRI

Presidente

Prof. Doutor Rui Pedro Cardoso da Silva Martinho
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Prof. Doutor Leonardo José da Silva Ribeiro
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

Prof. Doutor Carlos Manuel Coutinho Tavares de Pinho
Professor Associado, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto

AGRADECIMENTOS

À minha esposa, **Sónia** e ao meu filho, **Martim**, que souberam suportar a minha ausência e sempre me apoiaram.

Aos meus pais, **Álvaro Alves** e **Guilhermina Barroso** que sempre me apoiaram em toda as minhas decisões com amor e carinho.

Ao Engenheiro Leonardo José da Silva Ribeiro, pela sua orientação, total apoio, disponibilidade no solucionar de dúvidas e problemas que foram surgindo ao longo da realização deste trabalho e por todas as palavras de incentivo.

Aos colegas e amigos pela discussão de ideias e sugestões influentes.

PALAVRAS CHAVE

Gerador de vapor; caldeira; ante-fornalha; silo; transportador; arrastador; ciclone; economizador; ventilador; chaminé; tanque de condensados; coletor de vapor.

RESUMO

Nesta dissertação pretende-se fazer de uma forma breve e simplista um estudo do funcionamento de uma caldeira de produção de vapor através da biomassa (péletes).

O estudo fez-se de forma a mostrar os diversos equipamentos e produtos existentes na mesma. Parte-se do combustível usado (onde e como é feito o armazenamento), o seu transporte, através de um transportador (sem-fim), que vai fazer a alimentação de um equipamento de queima (ante-fornalha). Esta está ligada a um gerador de vapor (caldeira) através da fornalha da caldeira e três coletores fazendo o aquecimento da água. O aquecimento é feito não somente através dos gases quentes (que fazem a passagem através da fornalha e tubos nela contidos), mas também através das paredes da ante-fornalha que sendo tubular terá água a circular no seu interior. A distribuição de água de circulação é feita através de três coletores, dois inferiores e um superior. A água desce por gravidade da caldeira para os dois coletores inferiores e à medida que vai aquecendo dentro do tubular da ante-fornalha ela vai subindo para o coletor superior, voltando a entrar na caldeira. A água vai ser aquecida até ao ponto de saturação passando a vapor, que vai ser utilizado em diversas aplicações tais como alimentação de máquinas térmicas, autoclaves de esterilização de diversos materiais, cozimento de alimentos, etc.

Mostrar-se-á como é feito o tratamento e o aproveitamento térmico dos gases produzidos pelo gerador de vapor, bem como os equipamentos necessários para fazer a sua expulsão para a atmosfera.

KEYWORDS

Steam generator; boiler; ante-furnace; silo; carrier; driver; cyclone; economizer; fan; chimney; condensate tank; Steam collector;

ABSTRACT

In this dissertation it is intended to make a brief and simplistic study of the operation of a steam production boiler from biomass (pellets).

The study was done in order to show the various equipment and existing products in it. It starts from the fuel used (where and how is the storage), its transport through a conveyor (screw) that will feed a burning equipment (ante-furnace). This is connected to a steam generator (boiler) through the furnace of the boiler and three collectors for the heating of water. The heating is done not only through the hot gases (which are passing through the furnace tubes and contained therein), but also through the walls of the preliminary tubular furnace witch will have water circulating inside. The circulation of water distribution is done through three manifolds, two lower and an upper. The water falls by gravity from de boiler to the bottom two of collectors and as it warms inside the tubular furnace before it goes up to the upper collector, going back to the boiler. The water will be heated to the point of saturation and will be used on various equipments such as thermal power machines, autoclave sterilization of various materials, cooking of foods, etc.

It will be shown how it is done the treatment and thermal use of gases produced by the steam generator as well the equipment needed to do their expulsion to the atmosphere.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

<Termo>	<Designação>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CCDR	Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional
DIN	<i>German Institute for Standardization</i>
DN	Diâmetro Nominal
DRE	Direção Regional de Energia
END	Ensaio Não Destrutivos
ESP	Equipamento Sob Pressão
GN	Gás Natural
GPL	Gás de Petróleo Liquefeito
GV	Gerador de Vapor
IPAC	Instituto Português de Acreditação
ITC	Instruções Técnicas Complementares
OI	Organização Independente
PN	Pressão Nominal
PS	Pressão de Serviço
RF	<i>Raised Face</i>
TRD	<i>Technical Rules for Steam Boilers</i>
WN	<i>Welding Neck</i>

Lista de Símbolos

<Termo>	<Designação>	<Unidades>
A	Área da elipse	mm ²
A _e	Área máxima por escora	mm ²
A _{esf}	Área máxima suportada por esquadros	mm ²
A _{p0}	Área carregada no coletor	mm ²
A _{p1} , A _{p2}	Área carregada na tubuladura 1 e 2	mm ²
A _{pI}	Área carregada	mm ²
A _{te}	Maior área carregada (tubo escora)	mm ²
A _{σ0}	Área resistente do coletor	mm ²

Lista de Símbolos

<Termo>	<Designação>	<Unidades>
$A_{\sigma 1}, A_{\sigma 2}$	Área resistente da tubuladura 1 e 2	mm ²
$A'_{\sigma 0}$	Área resistente da chapa de reforço	mm ²
$A_{\sigma I}$	Área resistente da virola	mm ²
$A'_{\sigma I}$	Área resistente do aro-gola	mm ²
$A''_{\sigma I}$	Área resistente da chapa de reforço	mm ²
b	Espessura do cutelo; Largura do esquadro; Largura do reforço	mm
B	Consumo horário de combustível	kg/h
B_a	Coeficiente exterior para um tubo com curvatura	-
B_i	Coeficiente interior para um tubo com curvatura	-
c	Coeficiente de margem de diâmetro do perno	mm
c ₁	Tolerância geométrica da chapa	mm
c ₂	Tolerância de corrosão	mm
C ₁ , C ₂ , C ₃	Coeficiente de bordos	-
d	Diâmetro das escoras / perno	mm
d ₀	Diâmetro exterior do tubo	mm
d _a	Diâmetro máximo da virola	mm
d _{Ai}	Diâmetro interior da abertura na virola	mm
d _{Ai1} , d _{Ai2}	Diâmetro interior da abertura na tubuladura 1 e 2	mm
d _{Aa}	Diâmetro máximo da abertura dos furos no coletor	mm
d _{Ae}	Diâmetro exterior da tubuladura	mm
d _e	Diâmetro do círculo máximo inscrito, diâmetro exterior	mm
d _i	Diâmetro interior da virola	mm
d _k	Diâmetro do núcleo dos pernos	mm
d _m	Diâmetro médio da virola / tubuladura	mm
D _{máx.}	Diâmetro máximo medido num tubo com curvatura	mm
D _{min.}	Diâmetro mínimo medido num tubo com curvatura	mm
e	Espaçamento entre cutelos; Espessura de cada esquadro	mm
E	Módulo de elasticidade do material à temperatura de cálculo	N/mm ²
e _A	Limite de reforço da virola	mm
e _{act}	Espessura total geométrica num tubo com curvatura	mm
e _{ext}	Espessura mínima necessária num tubo com curvatura	mm
e _G	Limite de reforço aro-gola	mm

Lista de Símbolos

<Termo>	<Designação>	<Unidades>
f_1	Fator de eficiência do reforço	mm
F_e	Força tração exercida nos esquadros	N
F_{te}	Força tração exercida nos tubos escora/escora	N
h	Altura mínima do cutelo	mm
h'	Entalpia da água à temperatura. da água de alimentação	MJ/kg
h''	Entalpia do vapor à pressão de serviço	MJ/kg
h_{uf}	Altura do centro à última fila de tubos (esquadros)	mm
l	Distância entre reforços	mm
l_{A1}	Limites de comprimentos disponíveis do aro-gola/tubuladura (exterior)	mm
l_{A1}	Limites de comprimentos disponíveis do aro-gola/tubuladura (interior)	mm
l_T	Comprimento do cutelo	mm
M	Momento fletor	N/mm
n	Número de rugas em caso de colapso; Número de pernos	-
p	Pressão de cálculo	N/mm ²
P	Pressão de cálculo	N/mm ²
P'	Pressão de ensaio	N/mm ²
p_a	Pressão máxima admissível	N/mm ²
p_{ce}	Pressão máxima admissível na virola da fornalha ao colapso elástico	N/mm ²
P_{ci}	Poder calorífico inferior do combustível	MJ/kg
P_s	Esforço admissível por perno	N
P_t	Força total de cálculo na tampa	N
Q	Débito horário de vapor produzido	kg/h
R	Raio de curvatura	mm
r_i	Raio interior	mm
r_b	Raio de curvatura de um tubo com curvatura	mm
r_{wi}	Raio interior da calote esférica	mm
s	Espessura da chapa com tolerâncias	mm
S	Coeficiente de segurança	-
s_0	Espessura da chapa com tolerâncias	mm
SA_0	Espessura do aro-gola sem margens	mm
SA_{01}, SA_{02}	Espessura do tubo 1 e 2 sem margens	mm
SA_e	Espessura nominal da tubuladura	mm
s_e	Espessura da chapa adotada	mm
S_t	Secção do tubo/escora resistente à tração	mm ²

Lista de Símbolos

<Termo>	<Designação>	<Unidades>
S_k	Coeficiente de segurança	-
S_{re}	Secção resistente por escora	mm ²
S_v	Espessura da chapa sem tolerâncias	mm
S_{va}	Espessura no exterior da curva sem tolerância	mm
S_{vi}	Espessura no interior da curva sem tolerância	mm
T_C	Temperatura de cálculo	°C
t_ϕ	Distância entre eixos das aberturas (coletores)	mm
U	Irregularidade de forma	-
U	Ovalização de um tubo com curvatura	%
V_L	Eficiência de ligação	-
V_N	Coeficiente de soldadura	-
W	Módulo de resistência necessário	mm ³
z	Coeficiente	-
Z	Coeficiente de segurança	-
β_k	Coeficiente	-
η	Rendimento térmico da caldeira	%
$\sigma_{0,2}$	Limite de elasticidade à temperatura de cálculo	N/mm ²
σ_a	Tensão no exterior da curva	N/mm ²
$\sigma_{all}, \sigma'_{all}, \sigma''_{all}$	Tensão admissível do material à temperatura de cálculo	N/mm ²
σ_i	Tensão no interior da curva	N/mm ²
σ_s	Tensão de rutura à temperatura ambiente	N/mm ²
σ_t	Tensão de tração em cada esquadro/tubo de escora	N/mm ²
ν	Coeficiente de Poisson	-
ψ_A	Inclinação das aberturas relativamente ao eixo longitudinal da virola	o
φ_A	Fator de qualidade	-

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – IMPLANTAÇÃO DE UMA CENTRAL DE VAPOR A PÉLETES.	31
FIGURA 2 – EXEMPLIFICAÇÃO DA CIRCULAÇÃO DOS GASES DE COMBUSTÃO.	33
FIGURA 3 – EXEMPLIFICAÇÃO DA ALIMENTAÇÃO E CIRCULAÇÃO DA ÁGUA.	33
FIGURA 4 – EXEMPLIFICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DO VAPOR.	33
FIGURA 5 – CENTRAL DE VAPOR A PÉLETES.	34
FIGURA 6 – PÉLETES.	41
FIGURA 7 – ESQUEMA DO PROCESSO DE FABRICO DOS PÉLETES.	43
FIGURA 8 – SILO DE ARMAZENAGEM.	47
FIGURA 9 – PLANTA DO ARRASTADOR.	48
FIGURA 10 – ZONA DE DESCARGA DO ARRASTADOR.	48
FIGURA 11 – CORTE DE UM ARRASTADOR.	49
FIGURA 12 – EXEMPLO DE UM “REDLER”.	50
FIGURA 13 – EXEMPLOS DE ARRANJOS DE TRANSPORTADOR TIPO “REDLER” [17].	51
FIGURA 14 – EXEMPLO DE TRANSPORTADOR SEM-FIM [18].	52
FIGURA 15 – EXEMPLO DE TRANSPORTADOR DE ELEVADOR [19].	53
FIGURA 16 – GRELHA PLANA FIXA.	56
FIGURA 17 – GRELHA PLANA BASCULANTE.	57
FIGURA 18 – QUATRO EXEMPLOS DE GRELHAS EM ESCADA [26].	57
FIGURA 19 – GERADOR DE VAPOR COM GRELHAS INCLINADAS ARREFECIDAS [26].	58
FIGURA 20 – FORNALHA CELULAR [26].	58
FIGURA 21 – GRELHA INCLINADA MÓVEL POR ARRASTO [26].	59
FIGURA 22 – GRELHA DE ALIMENTAÇÃO POR BAIXO [26].	59
FIGURA 23 – GRELHA COM MOVIMENTO OSCILATÓRIO [26].	60
FIGURA 24 – GRELHA COM ESTEIRA CONTINUA [26].	60
FIGURA 25 – COLETORES INFERIORES, SUPERIOR E TUBULAR DE LIGAÇÃO ENTRE OS COLETORES.	64
FIGURA 26 – COLETOR SUPERIOR VASO SECO.	65
FIGURA 27 – LIGAÇÃO DOS COLETORES E CONDUTA DE EXAUSTÃO DE FUMOS À CALDEIRA.	65
FIGURA 28 – PURGA MANUAL (T1) E INSPEÇÃO/LIMPEZA (T2).	66
FIGURA 29 – INSPEÇÃO/LIMPEZA (T3).	67
FIGURA 30 – INSPEÇÃO/LIMPEZA (T4 E T5).	67
FIGURA 31 – PLANTA DA GRELHA.	68
FIGURA 32 – CORTE DA GRELHA X-X.	68
FIGURA 33 – CORTE DA GRELHA Y-Y.	69
FIGURA 34 – PORMENOR DA GRELHA USADA PELA NORBIDEL.	69
FIGURA 35 – PORTAS DE ACESSO À PARTE INFERIOR E SUPERIOR DAS GRELHAS.	70
FIGURA 36 – VÁLVULA DE SECCIONAMENTO.	71
FIGURA 37 – ISOLAMENTO DA ANTE-FORNALHA, A) TUBULAR SEM ISOLAMENTO, B) COLOCAÇÃO DO BETÃO REFRAATÓRIO ISOLANTE, C) E D) COLOCAÇÃO DO PAPEL ISOLANTE, E) COLOCAÇÃO DA	

MANTA CERÂMICA E “ALMOFADAS” EM CHAPA DE AÇO CARBONO, F) COLOCAÇÃO DE CHAPA DE ALUMÍNIO	73
FIGURA 38 – EXEMPLO DE UMA CALDEIRA PIROTUBULAR ACOPLADA A UMA ANTE-FORNALHA.	75
FIGURA 39 – EXEMPLO DE UMA CALDEIRA PIROTUBULAR.	75
FIGURA 40 – EXEMPLO DE UMA CALDEIRA AQUOTUBULAR.	76
FIGURA 41 – EXEMPLO DE UMA CALDEIRA AQUOTUBULAR.	77
FIGURA 42 – EXEMPLO DE UMA CALDEIRA AQUO-PIRO-TUBULAR.	78
FIGURA 43 – CIRCULAÇÃO DOS GASES DE COMBUSTÃO NA CALDEIRA PIROTUBULAR.	79
FIGURA 44 – ESPELHO DA FRENTE E DA TRASEIRA DA CALDEIRA.	80
FIGURA 45 – ESPELHO DA FRENTE E TRASEIRA DA CAIXA DE INVERSÃO.	81
FIGURA 46 – LIGAÇÃO DO ESPELHO DA FRENTE/FORNALHA/CAIXA DE INVERSÃO.	81
FIGURA 47 – ELEMENTOS CONSTITUINTES DO CORPO DE PRESSÃO DA CALDEIRA.	82
FIGURA 48 – ELEMENTOS CONSTITUINTES DO CORPO DE PRESSÃO DA CALDEIRA.	83
FIGURA 49 – ESQUADROS E ESCORAS.	83
FIGURA 50 – EQUIPAMENTO E TUBULADURAS DE UMA CALDEIRA.	84
FIGURA 51 – EQUIPAMENTO E TUBULADURAS DE UMA CALDEIRA.	85
FIGURA 52 – ELETROBOMBAS (T9), VER FIGURA 50.	86
FIGURA 53 – CURVA CARACTERÍSTICA DA BOMBA.	87
FIGURA 54 – CONTROLADOR DE NÍVEL (T8), VER FIGURA 50.	87
FIGURA 55 – ELÉTRODO DE NÍVEL DE SEGURANÇA (T2), VER FIGURA 50.	88
FIGURA 56 – INDICADOR DE NÍVEL (T7), VER FIGURA 50.	88
FIGURA 57 – PRESSOSTATOS (T1), VER FIGURA 50.	89
FIGURA 58 – SONDA DE PRESSÃO, VÁLVULA DE CUNHA (PURGA) (T1), VER FIGURA 50.	89
FIGURA 59 – MANÓMETRO, TORNEIRA, SIFÃO, VÁLVULA DE CUNHA (T1), VER FIGURA 50.	89
FIGURA 60 – VÁLVULAS DE SEGURANÇA (T4), VER FIGURA 50.	90
FIGURA 61 – PORTA DE HOMEM (T3), VER FIGURA 50.	90
FIGURA 62 – VÁLVULA DE GLOBO (VAPOR) (T5), VER FIGURA 50.	91
FIGURA 63 – APLICAÇÃO DE UMA TINTA CONTRASTE / PARTÍCULAS MAGNÉTICAS NAS SOLDAS DE UM COLETOR.	101
FIGURA 64 – EQUIPAMENTO DE MAGNETOSCOPIA.	102
FIGURA 65 – ONDAS LONGITUDINAIS.	103
FIGURA 66 – ONDAS TRANSVERSAIS.	103
FIGURA 67 – ONDAS DE RAYLEIGH.	104
FIGURA 68 – ONDAS DE LAMB.	104
FIGURA 69 – EQUIPAMENTO DE REPRESENTAÇÃO DIGITAL E APARELHOS A-SCAN.	106
FIGURA 70 – SISTEMAS C-SCAN E P-SCAN.	106
FIGURA 71 – IMAGEM DE FILME COM POROSIDADE E BORDOS QUEIMADOS.	108
FIGURA 72 – IMPRESSÃO DA IMAGEM NUM FILME.	108
FIGURA 73 – EQUIPAMENTO DE RAIOS X.	109
FIGURA 74 – EQUIPAMENTO DE RAIOS GAMA.	109
FIGURA 75 – REDUÇÃO DA PENUMBRA POR VARIAÇÃO DAS DISTÂNCIAS.	110
FIGURA 76 – PERPENDICULARIDADE DA FONTE DE RADIAÇÃO EM RELAÇÃO AO FILME.	111
FIGURA 77 – CÂMARA DE SEDIMENTAÇÃO GRAVITACIONAL [21].	116

FIGURA 78 – CÂMARA DE SEDIMENTAÇÃO GRAVITACIONAL.	116
FIGURA 79 – ESCOAMENTO GASOSO ATRAVÉS DE UM CICLONE DE ENTRADA TANGENCIAL E DE FLUXO INVERTIDO.	117
FIGURA 80 – CLASSIFICAÇÃO DOS CICLONES QUANTO AO TIPO DE ENTRADA.	118
FIGURA 81 – ASSOCIAÇÃO DE CICLONES EM PARALELO (MULTICICLONES).	120
FIGURA 82 – CARREGAMENTO DAS PARTÍCULAS, ADESÃO DAS PARTÍCULAS ÀS PLACAS COLETORAS E BATIMENTO DAS PARTÍCULAS.	121
FIGURA 83 – FILTRO DE MANGAS [21].	123
FIGURA 84 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM FILTRO DE MANGAS [21].	124
FIGURA 85 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM FILTRO DE MANGAS [21].	124
FIGURA 86 – TORRE DE LAVAGEM E LAVADOR COM EFEITO <i>VENTURI</i> .	126
FIGURA 87 – PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO ECONOMIZADOR.	132
FIGURA 88 – ESPELHOS, FEIXE TUBULAR.	133
FIGURA 89 – FRENTE E TRASEIRA DO ECONOMIZADOR.	134
FIGURA 90 – COLETOR SUPERIOR E INFERIOR.	134
FIGURA 91 – EQUIPAMENTOS DE UM ECONOMIZADOR.	135
FIGURA 92 – VÁLVULA DE SEGURANÇA (T1), VER FIGURA 91	136
FIGURA 93 – MANÓMETRO (T2), VER FIGURA 91.	136
FIGURA 94 – VÁLVULA DE GLOBO (T4 E T5), VER FIGURA 91.	136
FIGURA 95 – VÁLVULA MACHO ESFÉRICO (PURGA) (T3), VER FIGURA 91.	137
FIGURA 96 – VÁLVULA MACHO ESFÉRICO (PURGA) (T6), VER FIGURA 91.	137
FIGURA 97 – PORTAS DE INSPEÇÃO E CANA SOPRADORA.	138
FIGURA 98 – PORTA DE INSPEÇÃO DA PARTE INFERIOR.	139
FIGURA 99 – TRATAMENTO DE ÁGUA POR OSMOSE REVERSA.	146
FIGURA 100 – TUBULADURAS E EQUIPAMENTOS.	154
FIGURA 101 – COLETOR DE VAPOR.	160
FIGURA 102 – TUBULADURAS E EQUIPAMENTOS TIPO.	161
FIGURA 103 – CURVA CARACTERÍSTICA DO VENTILADOR FERRARI MEC 451N4.	166
FIGURA 104 – VENTILADOR AR PRIMÁRIO.	166
FIGURA 105 – CURVA CARACTERÍSTICA DO VENTILADOR SODECA CA-172-2T-10.	167
FIGURA 106 – PAREDE FRONTAL E TRASEIRA DA ANTE-FORNALHA.	168
FIGURA 107 – VENTILADOR A INSUFLAR AR NA FRENTE E NA ZONA DE ALIMENTAÇÃO.	168
FIGURA 108 – VENTILADOR A INSUFLAR AR NA TRASEIRA DA ANTE-FORNALHA.	169
FIGURA 109 – ABERTURA DA PORTA SEM PERIGO DE SAÍDA DE FOGO.	169
FIGURA 110 – CURVA CARACTERÍSTICA DO VENTILADOR FERRARI ART 1001 N12.	170
FIGURA 111 – LIGAÇÃO DO VENTILADOR AO ECONOMIZADOR/CHAMINÉ.	171
FIGURA 112 – QUADRO DE COMANDO.	182
FIGURA 113 – PAINEL DE MONITORIZAÇÃO.	182
FIGURA 114 – MONITORIZAÇÃO DO SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DE COMBUSTÍVEL.	183
FIGURA 115 – MONITORIZAÇÃO DO SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DE ÁGUA.	184
FIGURA 116 – FLUXOGRAMA DOS FUMOS DA QUEIMA.	195
FIGURA 117 – FLUXOGRAMA DA ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO E CIRCULAÇÃO CALDEIRA/ANTE-FORNALHA.	196

FIGURA 118 – FLUXOGRAMA DO VAPOR.	197
FIGURA 119 – DIMENSÕES DO CORPO DE PRESSÃO PARA FINS DE CÁLCULO.	217
FIGURA 120 – DIMENSÕES DO CORPO DE PRESSÃO PARA FINS DE CÁLCULO.	217
FIGURA 121 – DIMENSÕES DA CAIXA DE INVERSÃO PARA FINS DE CÁLCULO.	219
FIGURA 122 – ESQUADROS DO CORPO DE PRESSÃO.	221
FIGURA 123 – TUBO DE ESCORA.	221
FIGURA 124 – ESCORA.	222
FIGURA 125 – ABERTURA NA VIROLA, PORTA DE HOMEM.	222
FIGURA 126 – TUBULADURA RADIAL.	224
FIGURA 127 – TUBULADURA NÃO RADIAL.	226
FIGURA 128 – FEIXE TUBULAR E COLETORES DA ANTE-FORNALHA.	230
FIGURA 129 – TUBO COM CURVATURA.	231
FIGURA 130 – ABERTURA NOS COLETORES.	232
FIGURA 131 – ABERTURAS ISOLADAS.	233
FIGURA 132 – ABERTURAS ISOLADAS.	233
FIGURA 133 – ABERTURAS ADJACENTES NOS COLETORES.	235
FIGURA 134 – ABERTURAS ADJACENTES CIRCUNFERENCIAIS E LONGITUDINAIS NOS COLETORES.	235
FIGURA 135 – COLETOR SUPERIOR E INFERIOR DO ECONOMIZADOR.	240
FIGURA 136 – ABERTURAS ISOLADAS NOS COLETORES.	241
FIGURA 137 – ABERTURAS ADJACENTES NOS COLETORES.	243
FIGURA 138 – ABERTURAS ADJACENTES NOS COLETORES.	243

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO DA CALDEIRA.	45
TABELA 2 – COMPARAÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS.	45
TABELA 3 – CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DOS SEPARADORES DE GASES.	127
TABELA 4 – LIMITES RECOMENDADOS PELO CÓDIGO ASME [35].	144
TABELA 5 – CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS; [N/mm ²] [28].	246
TABELA 6 – CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS; [N/mm ²] [28].	247
TABELA 7 – CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS; [N/mm ²] [28].	248

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	31
1.1	Contextualização	34
1.2	Objetivo.....	34
2	DESCRIÇÃO DA INSTALAÇÃO.....	39
2.1	Biomassa	39
2.1.1	Tipos de biomassa	40
2.1.2	Péletes.....	41
2.1.2.1	Processo de fabrico.....	43
2.1.3	Comparação dos combustíveis.....	44
2.2	Armazenamento	45
2.3	Sistemas de transporte do combustível	47
2.3.1	Arrastador de combustível	47
2.3.2	Transportador tipo “Redler”	49
2.3.3	Transportador sem-fim	51
2.3.4	Transportador tipo Elevador	52
2.4	Equipamento de queima.....	53
2.4.1	Classificação das fornalhas	54
2.4.2	Fornalhas sob suporte	55
2.4.2.1	Fornalha de suporte estático de grelhas planas	56
2.4.3	Características da ante-fornalha NORBIDEL.....	60
2.4.3.1	Geral.....	60
2.4.3.2	Códigos de construção utilizados.....	61
2.4.3.3	Classificação do ESP (Decreto-Lei 211/99).....	62
2.4.3.4	Funcionamento ante-fornalha/gerador de vapor:.....	63
2.4.3.5	Partes principais da ante-fornalha.....	63
2.4.3.5.1	Ligações ao corpo de pressão	63
2.4.3.5.2	Tubuladuras	66
2.4.3.6	Queima de combustível	67

2.4.3.7	Sistema de queima e regulação de potência	69
2.4.3.8	Sistema de inspeção e limpeza	70
2.4.3.9	Válvularia e instrumentos	71
2.4.3.10	Especificações da qualidade da água de alimentação	71
2.4.3.11	Parâmetros de segurança e limites de funcionamento	71
2.4.3.12	Colocação em serviço	73
2.5	Gerador de Vapor	74
2.5.1	Caldeira Piro-tubular	74
2.5.2	Caldeira Aquo-tubular	75
2.5.3	Caldeira aquo-piro-tubular.....	77
2.5.4	Características da Caldeira Norbidel	78
2.5.4.1	Geral.....	78
2.5.4.2	Códigos de construção utilizados.....	79
2.5.4.3	Classificação do ESP (Decreto-Lei 211/99).....	80
2.5.4.4	Partes principais da caldeira	80
2.5.4.4.1	Corpo de pressão	80
2.5.4.4.2	Tubuladuras de ligação	84
2.5.4.4.3	Sistema de queima.....	85
2.5.4.4.4	Sistema de queima, regulação de potência da caldeira.....	85
2.5.4.4.5	Sistema de alimentação de água	85
2.5.4.4.6	Regulação do nível da água.....	87
2.5.4.4.7	Controlo de pressão de vapor.....	88
2.5.4.4.8	Sistema de inspeção e limpeza	90
2.5.4.5	Válvularia e instrumentos:.....	91
2.5.4.6	Especificações da qualidade da água de alimentação	91
2.5.4.7	Segurança	91
2.5.4.7.1	Parâmetros de segurança	91
2.5.4.7.2	Acessórios de segurança	92
2.5.4.7.3	Isolamento térmico	92
2.5.4.7.4	Segurança de pessoas	92
2.5.4.8	Colocação em serviço	93
3	PLANO DE INSPEÇÕES E ENSAIOS DOS ESP	97
3.1	Ensaio de pressão hidráulico.....	98
3.2	Verificação e ensaio dos órgãos de segurança e controlo	99
3.3	Ensaio não destrutivos [36]	100
3.3.1	Ensaio de partículas magnéticas (magnetoscopia)	100
3.3.2	Ensaio de ultra-sons	102
3.3.3	Ensaio de radiografia.....	107

3.4	Aprovação e renovação de funcionamento da instalação	111
3.4.1	Aprovação da instalação	111
3.4.2	Renovação da autorização de funcionamento	112
3.4.3	Inspeção intercalar	112
4	TRATAMENTO DOS GASES DE SAÍDA	115
4.1	Câmaras de sedimentação gravítica	115
4.2	Coletores gravíticos (ciclone)	117
4.2.1	Classificação dos Ciclones.....	118
4.2.1.1	Tipo de entrada.....	118
4.2.1.2	Tipo de fluxo	119
4.2.1.3	Eficiência	119
4.2.1.4	Associação (Multiciclones).....	119
4.2.2	Vantagens e Desvantagens.....	120
4.3	Precipitadores Electroestáticos.....	121
4.3.1	Vantagens e Desvantagens.....	122
4.4	Filtro de Manga	122
4.4.1	Vantagens e Desvantagens.....	125
4.5	Coletores Húmidos	125
4.6	Comparação entre Separadores de Gases.....	126
5	ECONOMIZADOR	131
5.1	Caraterísticas do economizador NORBIDEL.....	131
5.1.1	Geral	131
5.1.1.1	Códigos de construção utilizados.....	132
5.1.2	Classificação do ESP (Decreto-Lei 211/99)	133
5.1.3	Partes principais	133
5.1.3.1	Corpo	133
5.1.3.2	Tubuladuras e equipamentos	135
5.1.3.3	Válvularia e instrumentos.....	135
5.1.4	Regulação do caudal de água.	137
5.1.5	Controlo de pressão.	137
5.1.6	Sistema de limpeza.....	138
5.1.7	Especificações da qualidade da água de alimentação.....	139
5.1.8	Parâmetros de segurança e limites de funcionamento.....	139
5.1.8.1	Parâmetros de segurança	139
5.1.8.2	Acessórios de segurança.....	140
5.1.8.3	Isolamento térmico.....	140

5.1.8.4	Colocação em serviço	140
6	ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO À CALDEIRA.....	143
6.1	Tratamentos preliminares da água	145
6.2	Objetivos do tratamento da água de alimentação	147
7	RECUPERAÇÃO DO CONDENSADO	153
7.1	Condensado.....	153
7.2	Tanque de condensados	153
7.2.1	Partes principais	153
7.2.1.1	Corpo	153
7.2.1.2	Tubuladuras de ligação	154
7.3	Benefícios da recuperação dos condensados	155
7.3.1	Redução do custo de combustível.....	155
7.3.2	Redução de gastos relativos à água	155
7.3.3	Impacto positivo na segurança e meio ambiente	155
8	COLETOR DE VAPOR	159
8.1	Partes principais	160
8.1.1	Corpo.....	160
8.1.2	Tubuladuras e equipamentos.....	160
9	VENTILADORES	165
9.1	Ar primário	165
9.2	Ar secundário e terciário.....	167
9.3	Extração de fumos	169
10	CHAMINÉ.....	175
10.1	Caraterísticas	176
10.2	Monitorização das emissões para a atmosfera.....	177
11	MONITORIZAÇÃO	181
11.1	Controlo da caldeira/ante-fornalha.....	183

11.2	Controlo da alimentação de combustível	183
11.3	Controlo da alimentação de água da caldeira.....	183
11.4	Sistemas de segurança	184
12	CONCLUSÕES.....	187
12.1	Circuito dos fumos da queima	187
12.2	Circuito de água de alimentação e aquecimento da água.....	187
12.3	Circuito de vapor.....	188
13	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	191
14	ANEXOS	195
14.1	Anexo A - Fluxogramas.....	195
14.2	Anexo B - Relatórios dos ensaios.....	198
14.2.1	Ensaio de pressão.	198
14.2.1.1	Relatório de ensaio de pressão e inspeção visual.....	198
14.2.1.2	Certificado de calibração do manómetro	199
14.2.1.3	Registo de acompanhamento de inspeção de construção.	201
14.2.2	Ensaio de ultrassons.	204
14.2.2.1	Relatório de ensaio de ultrassons - soldaduras.	204
14.2.3	Ensaio de magnetoscopia.	206
14.2.3.1	Relatório de ensaio de magnetoscopia.....	206
14.2.4	Ensaio de radiografia.	208
14.2.4.1	Relatório de ensaio de radiografia.....	208
14.3	Anexo C – Cálculo das partes sob pressão	212
14.3.1	Caldeira.....	212
14.3.1.1	Código de cálculo TRD	212
14.3.1.2	Temperaturas e características dos materiais	216
14.3.1.3	Cálculo das partes sob pressão	217
14.3.1.3.1	Virola cilíndrica (pressão interior) – TRD301	218
14.3.1.3.2	Espelhos do corpo cilíndrico – TRD 305.....	218
14.3.1.3.3	Virola da fornalha (lisa) – TRD 306	218
14.3.1.3.4	Caixa de inversão	219
14.3.1.3.5	Esquadros a 30° (espelhos do corpo).....	221
14.3.1.3.6	Tubos escora – TRD 305.....	221
14.3.1.3.7	Escoras – TRD 305.....	222
14.3.1.3.8	Aberturas na virola – TRD 301	222

14.3.1.3.9	Tubuladuras – TRD 301	224
14.3.2	Ante-Fornalha	227
14.3.2.1	Código de cálculo TRD	227
14.3.2.2	Norma Europeia EN 12952-5	228
14.3.2.3	Temperaturas e características dos materiais	229
14.3.2.4	Feixe tubular e coletores – TRD 301	230
14.3.2.5	Tubos com curvatura – TRD 301	231
14.3.2.6	Abertura nos coletores – TRD 301	232
14.3.2.7	Aberturas isoladas – TRD 301	233
14.3.2.8	Aberturas adjacentes nos coletores – TRD 301	235
14.3.3	Economizador	237
14.3.3.1	Código de cálculo TRD	237
14.3.3.2	Temperaturas e características dos materiais – TRD 301	238
14.3.3.3	Tubos feixe tubular e de ligação aos coletores – TRD 301.....	239
14.3.3.4	Tubos com curvatura – TRD 301	239
14.3.3.5	Coletores.....	240
14.3.3.5.1	Tubo – TRD 301.....	240
14.3.3.5.2	Aberturas nos coletores – TRD 301	240
14.3.3.5.3	Aberturas isoladas nos coletores – TRD 301.....	241
14.3.3.5.4	Aberturas adjacentes nos coletores – TRD 301	243
14.3.3.5.5	Fundos copados – TRD 303.....	244
14.4	Anexo D – Material de construção	246
14.4.1	Ante-fornalha	246
14.4.2	Caldeira.....	246
14.4.3	Economizador	248

INTRODUÇÃO e OBJETIVO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

1.2 OBJETIVO

1 INTRODUÇÃO

Este documento pretende dar a conhecer ao leitor os equipamentos e funcionamento de uma instalação de geração de vapor.

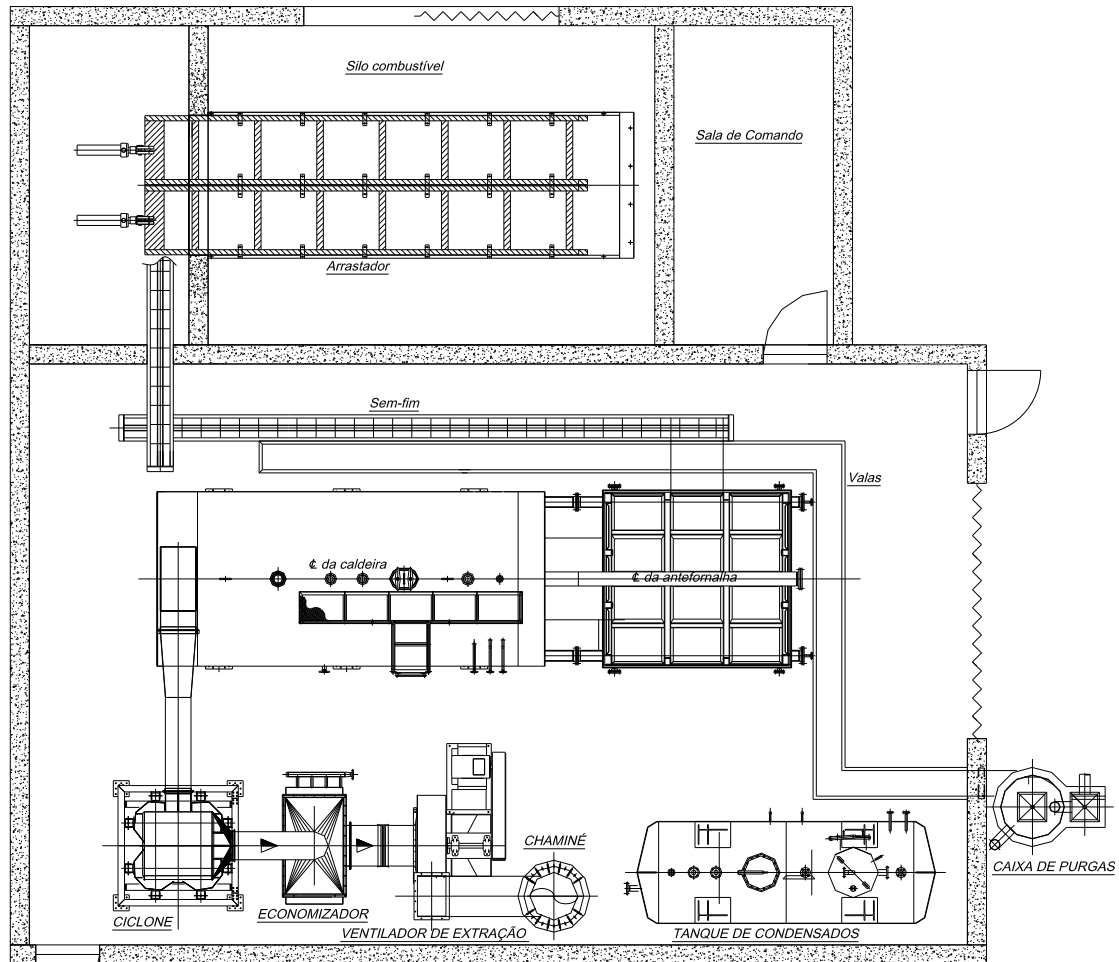


Figura 1 – Implantação de uma central de vapor a péletes.

Com o aumento dos preços dos combustíveis as empresas viram-se obrigadas a procurar soluções para diminuir os custos de produção dos seus produtos, apostando na aquisição de biomassa sólida, que sendo mais barata, é renovável, logo essas empresas vão beneficiar de subsídios.

As centrais para se tornarem mais rentáveis e estarem dentro dos parâmetros legais, as empresas foram investindo em equipamentos para o seu melhoramento na produção de vapor e emissões de gases para a atmosfera.

Como podemos ver na figura 1, a central de vapor é normalmente constituída por:

- Um silo, onde vai ser descarregado e armazenado o combustível, péletes.

- Um arrastador, um ou mais transportadores sem-fim, que vão fazer o transporte do combustível do silo para o equipamento de queima, ante-fornalha.
- Uma ante-fornalha, onde é feita a queima dos péletes.
- Uma caldeira, que está acoplada à ante-fornalha, onde vai ser gerado o vapor.
- Um ciclone, que faz o tratamento dos gases de combustão da queima dos péletes.
- Um economizador, que vai fazer o aproveitamento térmico dos gases de combustão, aquecendo a água de alimentação da caldeira.
- Três ventiladores, dois de insuflação de ar e um de extração dos gases de combustão.
- Uma chaminé, que vai fazer a dispersão dos gases de combustão para a atmosfera.
- Um tanque de condensados, que faz a recolha dos condensados e faz também a alimentação da caldeira com água quente.

O combustível é descarregado no silo, de onde vai ser arrastado para o interior de um sem-fim, transportando-o para dentro da ante-fornalha, onde vai ser feita a sua queima. Vai produzir gases de combustão que vão fazer a passagem pelo gerador de vapor, aquecendo desta maneira a água nela contida até o seu ponto de saturação, produzindo assim vapor que vai ser depois distribuído para os diversos pontos da fábrica que necessitem de vapor por um coletor de avanço. Os gases de combustão saem depois da caldeira para um ciclone, para retirar dos gases as partículas poluentes. Passando depois por um economizador, que vai fazer o aquecimento da água proveniente do tanque de condensados, fazendo assim a alimentação da caldeira com água quente garantindo assim um menor dispêndio em combustível na produção de vapor. Em seguida, com ajuda de um ventilador de extração os gases de combustão são enviados para a chaminé que os vai dispersar na atmosfera, ver a figura 2 que exemplifica a circulação dos gases de combustão desde a ante-fornalha até a sua dispersão na atmosfera, ver a figura 3 que exemplifica a alimentação bem como a circulação da água e a figura 4 que exemplifica a distribuição do vapor.

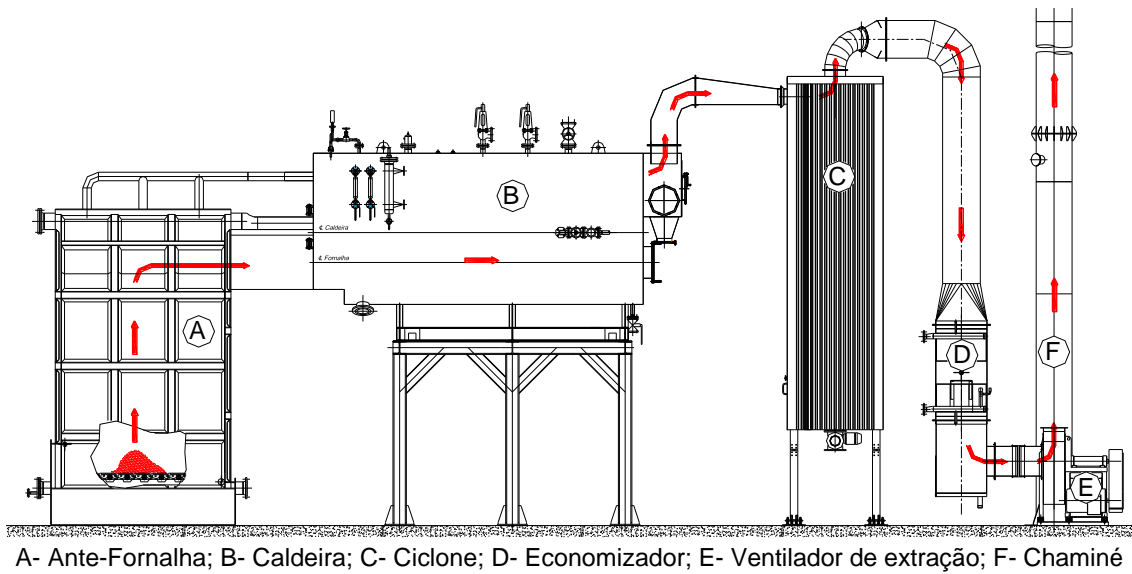


Figura 2 – Exemplificação da circulação dos gases de combustão.

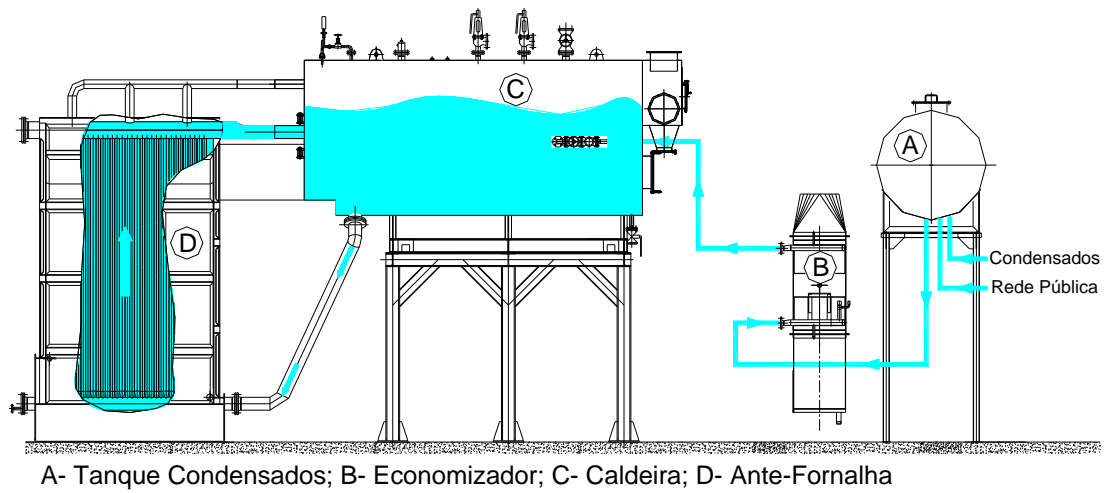


Figura 3 – Exemplificação da alimentação e circulação da água.

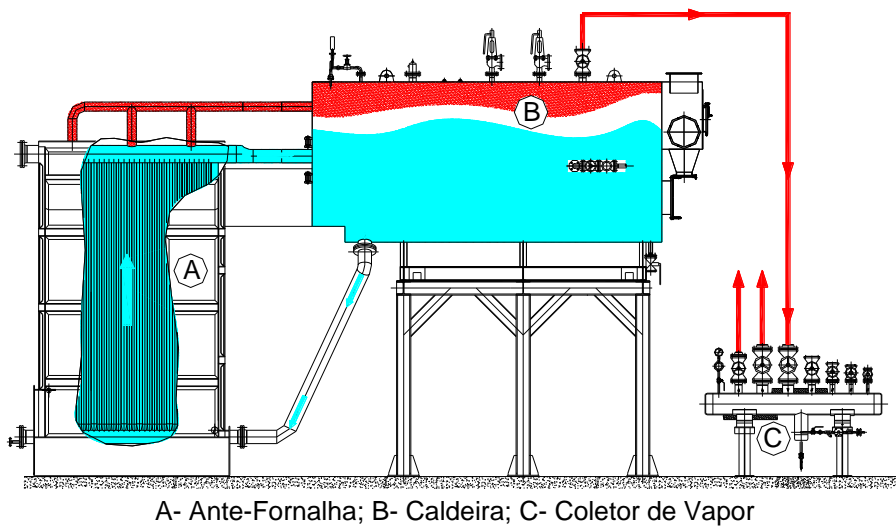


Figura 4 – Exemplificação da distribuição do vapor.

1.1 Contextualização

Este projeto surgiu do desejo de realizar um trabalho no âmbito da atividade laboral, cuja principal atividade é a construção e instalação de equipamentos de geração de vapor, como se pode ver na figura 5.



Figura 5 – central de vapor a péletes.

1.2 Objetivo

O objetivo principal deste projeto é dar um contributo para o desenvolvimento do conhecimento funcional de uma central de vapor a biomassa. Para tal foi necessário fazer um estudo prévio de tudo que pode fazer parte da mesma. Dada a complexidade inerente a este objetivo, sentiu-se a necessidade de o subdividir em múltiplos tópicos para melhor compreensão:

- Combustível (péletes).
- Armazenamento (silo).
- Equipamento de queima (ante-fornalha).
- Gerador de vapor (caldeira).
- Tratamento dos gases de saída do gerador de vapor (ciclone).

- Recuperação térmica através dos gases (economizador).
- Ventiladores (ar primário, ar secundário e terciário, extração).
- Dispersão dos gases (chaminé).
- Alimentação de água do gerador de vapor (tanque de condensados).
- Distribuição do vapor produzido (coletor de vapor).
- Monitorização dos equipamentos (sala de comando).

DESCRIÇÃO DA INSTALAÇÃO

2.1 BIOMASSA

2.2 ARMAZENAMENTO

2.3 SISTEMAS DE TRANSPORTE DO COMBUSTÍVEL

2.4 EQUIPAMENTO DE QUEIMA

2.5 GERADOR DE VAPOR

2 DESCRIÇÃO DA INSTALAÇÃO

Neste capítulo pretende-se mostrar os equipamentos usados ao longo da instalação desde o combustível até à dispersão dos gases produzidos pelo gerador de vapor.

2.1 Biomassa

Do panorama da geração de energia, o termo biomassa abrange os derivados recentes de organismos vivos empregados como combustíveis ou para a sua produção. Do ponto de vista da ecologia, biomassa é a matéria viva presente num ecossistema ou numa população animal ou vegetal. Os dois conceitos estão, portanto, interligados, embora sejam desiguais.

Na definição de biomassa para a geração de energia não se contabiliza os tradicionais combustíveis fósseis, apesar destes também serem derivados da vida vegetal (carvão mineral) ou animal (petróleo e gás natural), mas são resultado de várias transformações que requerem milhões de anos para acontecerem. A biomassa pode considerar-se um recurso natural renovável, contrariamente aos combustíveis fósseis.

A biomassa é utilizada na produção de energia a partir de processos como a combustão de material orgânico que se encontra presente num ecossistema. Parte dessa energia acumulada é empregada pelo ecossistema para sua própria manutenção [12].

As tecnologias de aproveitamento do potencial da biomassa sólida passam essencialmente pela queima em centrais térmicas com tecnologias como: fornalhas de grelha fixa, móvel ou inclinada e de leito fluidizado, ou centrais de cogeração para a produção de energia elétrica e de água quente, ou ainda a queima (combustão) em lareiras (lenha) para a produção de calor.

Para a conversão dos biocombustíveis sólidos, em energia elétrica, mecânica e térmica, existem vários processos, nomeadamente [13]:

- Pirólise: consiste na combustão incompleta da biomassa, a temperaturas que rondam os 500 °C, na ausência de oxigénio, de modo a retirar o material volátil. Este processo é utilizado essencialmente para obter carvão vegetal, podendo também obter-se biocombustível líquido ou gasoso.

- **Gasificação:** permite a obtenção de uma mistura de gases, como CH₄, CO, CO₂ e H₂, entre outros, através da combustão incompleta da biomassa, com quantidades de ar abaixo das do equilíbrio estequiométrico e a temperaturas na ordem, dos 800-900 °C.
- **Combustão:** consiste na queima completa da biomassa, a temperaturas na ordem dos 800 a 1000 °C, utilizando para o efeito vários equipamentos, como fogões, fornos, caldeiras, turbinas a vapor ou turbogeradores. A combustão é realizada com excesso de ar atmosférico, e dela resulta calor, vapor de água, cinzas e emissões gasosas. Pode ser aplicada a qualquer tipo de biomassa, desde que possua teores de humidade inferiores a 50 %.
- **Co-combustão:** refere-se a um processo de combustão conjunta de diferentes combustíveis no mesmo equipamento. Este processo é muito usado nas centrais térmicas a carvão de modo a reduzir as emissões gasosas, de CO₂, NO_x e SO₂, sem necessidade de grandes investimentos.
- **Liquefação:** baseia-se na hidrogenação da biomassa misturada com um solvente, na presença de um catalisador a temperaturas moderadas e elevadas pressões.

2.1.1 Tipos de biomassa

Existem várias maneiras de classificar [27] a biomassa. Um método simples consiste em dividir a biomassa nas seguintes quatro categorias:

- Plantas lenhosas.
- Plantas e ervas herbáceas.
- Plantas aquáticas.
- Estrumes.

Dentro das categorias referidas anteriormente, as plantas herbáceas podem ser subdivididas, segundo o seu teor de água, em plantas de elevada e baixa humidade.

A maioria das atividades industriais exigem biomassa com baixo teor de água, sendo por isso as plantas lenhosas e as herbáceas de baixa humidade as mais utilizadas. As plantas aquáticas e os estrumes, antes de serem queimados, devido ao seu elevado teor de água, são convertidas energeticamente mediante processos biológicos tais como a fermentação, visto que a energia necessária para os processos de secagem seria muito

grande quando comparada com a energia libertada pela biomassa num processo de conversão como a combustão.

2.1.2 Péletes

Nesta instalação são usados os péletes como combustível. Os péletes [33] de madeira são um tipo de combustível sólido geralmente produzido a partir de serrim de madeira refinada e seca que depois é comprimida. Para obter um bom *pélete* de madeira é necessário possuir serrim fresco de primeira transformação, proveniente de serrações locais. Não deve ser utilizado serrim de péletes usados, nem serrim de carpintarias (que, em geral, possui resíduos de produtos químicos), nem desperdícios de madeira fabricada. Para fazer um *pélete* de madeira 100 % natural não é necessário cola nem qualquer outro aditivo.

Os péletes de madeira são granulados cilíndricos com 6 a 8 milímetros (mm) de diâmetro, e com 10 a 40 mm de comprimento, ver figura 6.



Figura 6 – Péletes.

Os péletes são extremamente densos e devem ser fabricados com um baixo índice de humidade (abaixo de 1 %), o que lhes permite serem consumidos, isto é, queimados facilmente. Para obter uma boa queima é necessário produzir péletes com geometria regular utilizando diferentes tipos de madeira. Além disso, a geometria regular e o pequeno tamanho dos péletes de madeira possibilitam uma alimentação contínua e extremamente calibrada das caldeiras que realizam a combustão dos péletes. A alta densidade dos péletes de madeira também permite um armazenamento compacto e

um transporte mais económico a longas distâncias. Os péletes podem ser facilmente descarregados da cisterna de um camião para o seu local de armazenamento nas instalações do cliente.

A vantagem dos péletes de madeira em relação a outros tipos de combustíveis mais conhecidos, são as seguintes:

- Os péletes de madeira são o combustível sólido mais limpo. Devido às caldeiras de combustão altamente eficiente, desenvolvidas ao longo dos últimos anos, a emissão de compostos químicos, como óxidos de azoto (NO_x), ou compostos orgânicos voláteis, é muito reduzida, o que torna os péletes de madeira uma das formas de aquecimento menos poluentes disponíveis atualmente no mercado.
- Devido ao tratamento na sua transformação a humidade dos péletes é extremamente reduzida, o que permite que a combustão seja muito mais eficiente. Além disso, o seu tamanho reduzido permite dosear, unidade a unidade, a quantidade que vai ser queimada para produção de energia.
- A matéria-prima necessária provém de serrações e dos desperdícios gerados pela própria floresta.
- Como a sua matéria-prima são subprodutos da indústria do mobiliário e desperdícios gerados pela própria floresta, o preço dos péletes de madeira tem de ser obrigatoriamente mais barato do que os preços de outros tipos de combustíveis. Além disso, o preço dos péletes de madeira não depende dos acontecimentos mundiais (conflitos, guerras, etc.) é estável e previsível.
- Como consequência, os péletes de madeira reduzem a nossa dependência energética em relação ao gás e ao petróleo.
- Os péletes de madeira são uma energia renovável que, ao contrário das restantes, apresenta uma disponibilidade permanente, isto é, está disponível quando dela necessitamos. Por exemplo, a energia solar está mais disponível no Verão quando não temos tanta necessidade de aquecimento, mas não se encontra tão disponível no Inverno, quando mais precisamos dela.
- Uma tonelada de péletes de madeira produz sensivelmente a mesma energia que uma tonelada e meia de madeira; assim sendo, os péletes de madeira ocupam muito menos espaço de armazenamento.

- O armazenamento dos péletes de madeira também é mais seguro porque não possuem os riscos associados ao gás e ao gasóleo: não há fugas nem perigo de explosão.

Os péletes de madeira são um combustível limpo, natural, renovável e amigo do ambiente; assim sendo, estão previstos benefícios fiscais para a aquisição de sistemas de utilização de péletes de madeira.

2.1.2.1 Processo de fabrico

Os péletes passam por várias etapas de produção [13], tanto a montante como a jusante da sua extrusão pela matriz, como exemplificado no esquema da figura 7:

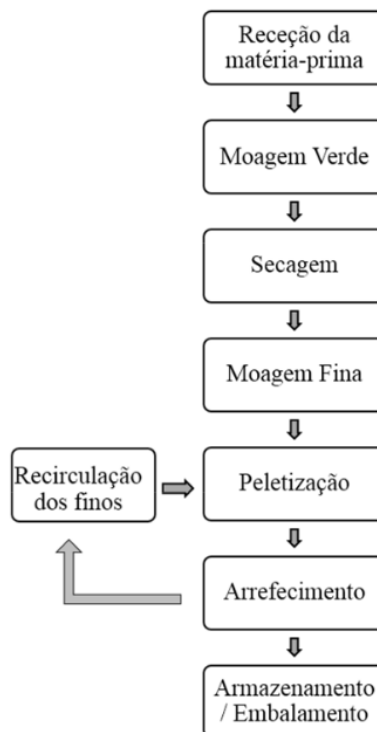


Figura 7 – Esquema do processo de fabrico dos péletes.

Após a receção da matéria-prima nas instalações, as etapas que se seguem incluem a moagem do material, de forma reduzir a granulometria do mesmo, e a secagem para ajuste do teor de humidade. O processo de secagem pode ser efetuado de forma natural ou através de secadores. A primeira opção tem a vantagem da redução dos custos energéticos, mas como desvantagens apresenta elevados tempos de secagem, ocupação de grandes espaços e dificuldades na regulação do teor de humidade. Estas etapas podem ser opcionais, quando a matéria-prima já se encontra na forma de serrim e sem excesso de humidade. O passo seguinte passa pela moagem fina de toda a matéria

de forma a uniformizar a granulometria dimensional do serrim, fator que irá influenciar a densidade do pélete final.

Garantidas estas etapas procede-se à peletização do material. Esta operação consiste na prensagem da matéria-prima, por ação de rolos, seguida da extrusão através de uma matriz perfurada com orifícios circulares. À saída da matriz, a matéria prensada é cortada por facas ajustadas a uma medida de forma a obter-se um produto final com as dimensões pretendidas.

De um modo geral, este processo ocorre a temperaturas elevadas, que podem atingir 110-130 °C, consequência da fricção e da pressão na ordem dos 210 a 450 MPa, causadas pela força dos rolos sobre a matriz. Em geral ambos os componentes (matriz e rolos) são em aço.

A temperatura elevada que se atinge durante o processo ajuda na agregação das partículas pois, ao aquecer, a lignina da madeira fica com alguma plasticidade. No entanto, por vezes usam-se aditivos de colagem natural, como o milho, para facilitar o processo de prensagem e melhorar o equilíbrio energético, assim como, a resistência dos péletes.

Posteriormente, deve ser assegurado o processo de arrefecimento para que a lignina da biomassa endureça e os péletes adotem a sua forma rígida típica. Se nesta etapa resultar a produção de quantidades significativas de finos, então os péletes devem ser peneirados e os finos reenviados novamente para a fase de peletização.

Uma vez arrefecidos, os péletes podem ser armazenados em silos, aqueles que são para venda a granel, ou embalados em sacos de 15 kg ou “big-bags” de 500 a 1000 kg. O armazenamento na fábrica ou no cliente deve ser efetuado num local seco de modo a manterem a sua durabilidade, fruto do baixo teor de humidade.

2.1.3 Comparação dos combustíveis

As comparações seguintes têm como base o consumo de uma caldeira de 10 bar (rel.), com uma vaporização de 6000 kg/h.

O consumo (horário) de combustível será, no caso de um gerador de vapor [36]:

$$B = \frac{Q \cdot (h'' - h')}{P_{ci} \cdot \eta} \tag{1}$$

Tabela 1 – Condições de funcionamento da caldeira.

PS= 10 bar; Tag=130°C; 2080 h/ano	
h'' _(10 bar)	2,777 [MJ/kg]
h' _(130°C)	0,546 [MJ/kg]
η	90 [%]
Q	6000 [kg/h]
Q _(2080h)	12480000 [kg/ano]

Tabela 2 – Comparação dos combustíveis.

COMBUSTÍVEL	Preço [€/kg]	Pci [38] [MJ/kg]	B [kg/ano]	Custo [€/ano]
<i>Pellets (<8% humidade)</i>	0,15	16,8	1841460	276 219 €
Gás Natural	0,44	45,1	685954	301 820 €
Fuel-óleo	0,60	41,2	750887	450 532 €

Com base nas tabelas 1 e 2 demonstra-se que os péletes são a melhor opção dentre as três consideradas.

2.2 Armazenamento

A principal finalidade do armazenamento [15] é manter a biomassa em bom estado e em lugar adequado para que possa ser facilmente transferida para os próximos estágios do processo de transformação da biomassa em energia térmica através da combustão.

Em muitos casos uma das principais preocupações é mantê-la seca, protegendo a biomassa contra a chuva, humidade e a água que se infiltra pelo solo. Deve igualmente ser protegida durante o abastecimento do local de armazenamento, sua transferência e durante o acesso para a manutenção.

Os sistemas de armazenamento podem ser:

- Com propósitos e formas estruturais específicos para o armazenamento, tanto acima do solo como no subsolo.
- Unidades de disponibilidade imediata, pré-fabricada e projetada para um tipo específico de biomassa tal como os péletes.

O projeto de armazenamento de biomassa combustível deve considerar o abastecimento e a extração da biomassa, assim como o acesso para a manutenção, que é muito importante para a operação eficiente de uma instalação de biomassa.

O método pretendido para o abastecimento também deve ser considerado. Se os cavacos de madeira vão ser entregues por um caminhão basculante, o método mais eficiente é depositá-los diretamente no silo de combustível. Isto pode requerer uma rampa para permitir acesso do caminhão ao silo de armazenagem se este for construído totalmente ou parcialmente no subsolo. Se a madeira vai ser picada no local, existe a possibilidade de armazenar diretamente dentro de um silo aéreo. A biomassa em geral é um combustível de densidade energética baixa, conseqüentemente um grande volume deve ser armazenado no local se a frequência de abastecimento é pequena, e uma reserva de segurança com margem suficiente também deve ser mantida.

Aconselha-se que a biomassa seja armazenada próxima ao local do equipamento de combustão para evitar bloqueios ou dificuldades na alimentação do combustível no queimador, e que seja acessível aos veículos de carga para abastecimento do local de armazenagem. Para a maioria dos armazenamentos de biomassa seca, será necessário arejá-la para impedir a acumulação de água líquida, permitir secagem adicional, e para impedir a formação de húmus e fungos que podem apresentar risco sanitário se inalados.

O bom arejamento também pode ajudar a minimizar a compostagem do combustível, que causa a perda de conteúdo energético, e para evitar temperaturas excessivas com o risco de incêndio.

Tanto na armazenagem acima do solo quanto nas instalações abaixo do solo, algumas formas de drenagem devem ser incluídas para o caso de entrada indesejada de água e também para permitir a limpeza, como nos casos de contaminação por fungos.

Fatores a considerar sobre a biomassa:

- Não escoar tão livremente quanto o óleo ou o gás natural.
- Geralmente absorve a humidade se for exposta.

- Poderá naturalmente biodegradar-se no armazenamento se não estiver seca levando a uma perda do potencial calorífico e a formação de fungos e bolores.

Projeto de um armazenador eficiente deve levar em consideração que:

- O dispositivo deve manter o combustível em boas condições, particularmente protegendo-o contra a humidade.
- Deve também ser possível a descarga da biomassa num recipiente adequado para o transporte.

Nesta instalação optou-se por um silo horizontal devido à sua grande capacidade de armazenamento, entre 20000 a 100000 toneladas.

O silo é feito totalmente em betão armado, ver figura 8, visto que fica enterrado, para fácil acesso do camião durante a descarga de combustível.

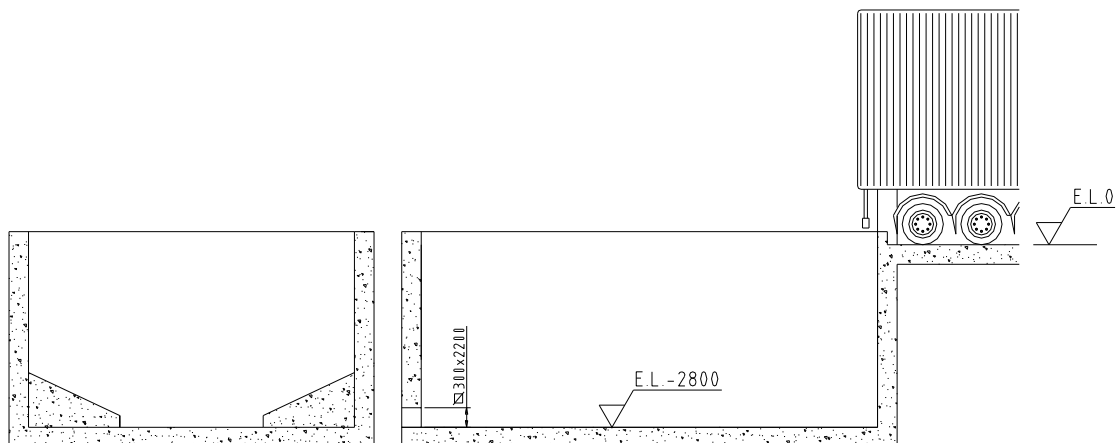


Figura 8 – Silo de armazenagem.

2.3 Sistemas de transporte do combustível

O sistema implementado de transporte de combustível para a alimentação do equipamento de queima pode ser feito de diversas maneiras.

2.3.1 Arrastador de combustível

Este equipamento está localizado no fundo de um silo, ver figura 9, e tem a função de passar o material depositado no silo para um transportador, ver figura 10, que por sua vez alimenta o equipamento de queima.

Basicamente é um mecanismo constituído por umas barras transportadoras de secção triangular soldadas a uns tubos de secção quadrada, que por sua vez vão estar acoplados a dois macacos hidráulicos com curso de 500 mm, fazendo o arrastamento do material para dentro de um transportador. Na figura 11 está representada a secção triangular da barra transportadora. Quando o mecanismo se desloca da esquerda para a direita faz com que o material resvale para a barra em cunha. Fazendo o movimento contrário transporta o material para a tremonha.

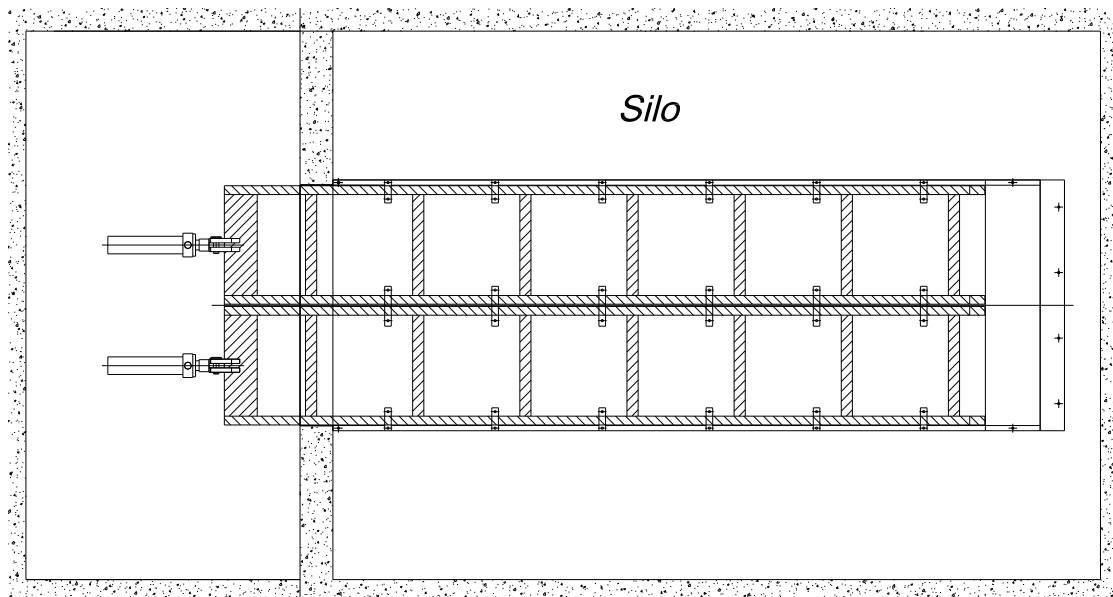


Figura 9 – Planta do arrastador.



Figura 10 – Zona de descarga do arrastador.

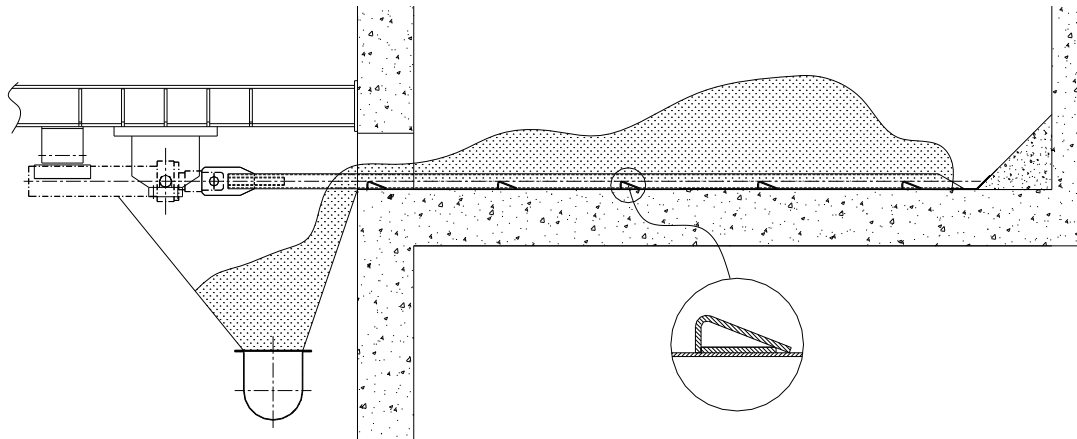


Figura 11 – Corte de um arrastador.

2.3.2 Transportador tipo “Redler”

São equipamentos que podem ser utilizados na movimentação de grânéis sólidos em planos horizontais, inclinados e também em planos verticais. Os “Redlers” são constituídos pelo corpo do “Redler”, pelo conjunto de arrasto, pelo acionamento e pelas estações motriz e tensora, vulgarmente designadas por, respetivamente, cabeça e pé.

O corpo do “Redler” tem uma estrutura paralelepípedica, hermeticamente fechada, e é constituído pelos painéis laterais, pelo painel de fundo e pelo painel de topo. Dependendo da configuração do equipamento, o corpo do “Redler” pode também incluir um fundo intermédio e/ou uma guia de desgaste montada nos painéis do fundo ou intermédios. A guia de desgaste consiste numa “barra” guia, sobre a qual a corrente de arrasto desliza, e que tem como objetivo prevenir o desgaste da corrente de arrasto pelo contacto direto com os painéis do fundo ou intermédios, caso existam.

Dependendo das características da utilização pretendidas, o corpo do “Redler” pode ser construído em diferentes materiais, como aço carbono, galvanizado ou não, ou aço inoxidável, geralmente utilizado em ambientes húmidos ou corrosivos. Os painéis podem ainda ser revestidos por um painel de proteção, quando são feitos de aço carbono e transportam material húmido ou corrosivo. A corrente de arrasto destes transportadores pode ter diversas configurações, dependendo a sua escolha do material a transportar.

A configuração dos “Redlers” depende, portanto, da finalidade de utilização dos mesmos. Os “Redlers” podem apresentar uma configuração simples, dupla ou mista e

podem ainda ter painéis de fundo intermédio. Uma das grandes vantagens dos “Redlers” é o facto de estes equipamentos serem constituídos por módulos, o que torna relativamente fácil a sua montagem e desmontagem para reparação, reconfiguração ou simplesmente para mudar a sua localização. Os painéis têm, geralmente, 2500 mm ou 3000 mm de comprimento, permitindo assim a fácil reparação ou substituição dos “Redlers” por módulos, bem como para a reconfiguração do mesmo se necessário (ex. o seu comprimento total do “Redler” pode ser encurtado ou acrescentado, de acordo com as necessidades, bem como a sua inclinação também pode ser ajustada).

No caso de o acionamento ser indireto, este é composto pelo moto-reductor (em alguns casos o moto-reductor é substituído pelo conjunto “motor + caixa redutora”), acoplamento (rígido ou elástico) e transmissão. Se o acionamento for direto, a força motriz é passada diretamente do veio do moto-reductor para o veio da estação motriz, com acoplamento rígido ou elástico [16], ver figura 12.

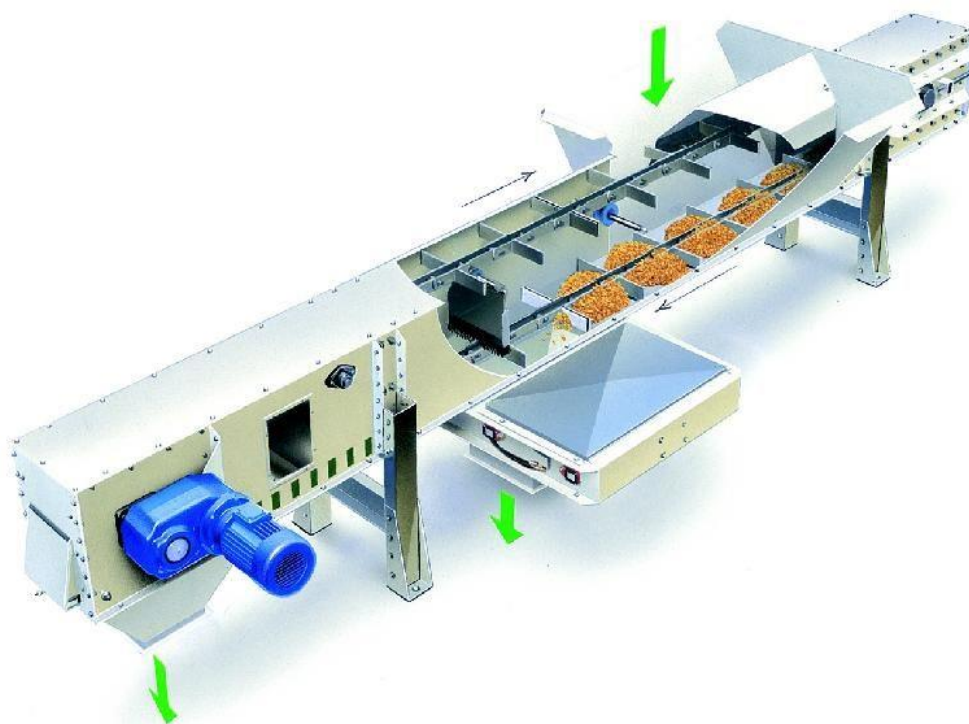


Figura 12 – Exemplo de um “Redler”.

São apresentados exemplos de arranjos possíveis de um transportador do tipo “Redler”, ver figura 13.

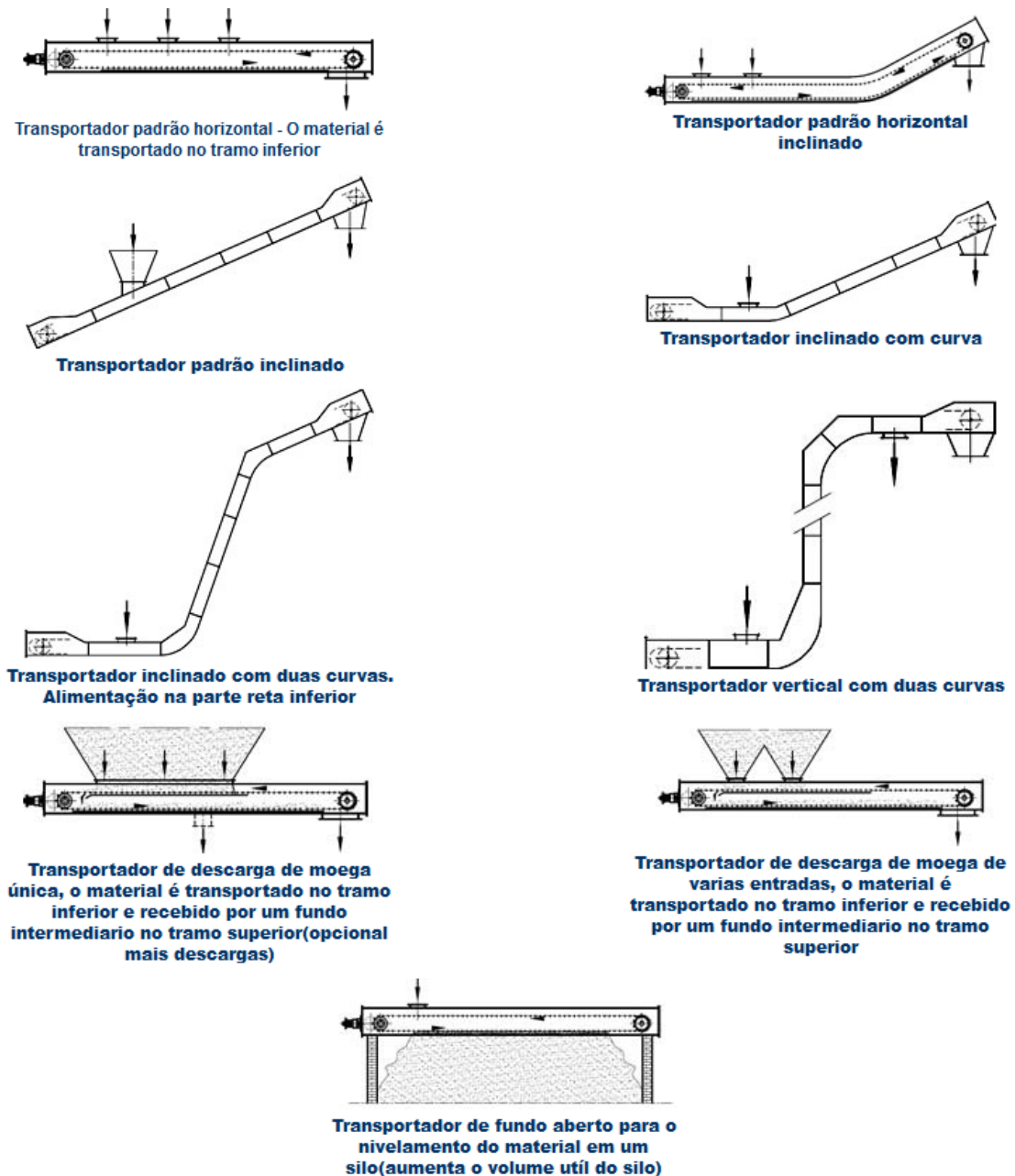


Figura 13 – Exemplos de arranjos de transportador tipo “Redler” [17].

2.3.3 Transportador sem-fim

O corpo dos transportadores do tipo sem-fim apresenta geralmente, dois tipos de configuração: a estrutura do corpo do transportador pode ser do tipo “calha” (em forma de “U”), tapada na parte superior com uma tampa, ou estrutura tubular fechada, com janelas de inspeção localizadas ao longo do corpo do transportador. Dentro do corpo do transportador existe um helicóide, vulgarmente designado “sem-fim”, que dá o nome ao transportador.

O acionamento deste tipo de transportadores pode ser direto ou indireto, sendo que grande parte dos transportadores deste tipo existentes na unidade industrial são de acionamento indireto. O material é depositado na boca de carga localizada na extremidade oposta ao moto-reductor, sendo arrastado até à boca de descarga de material existente na extremidade onde se encontra o moto-reductor. O arrastamento do material deve-se ao movimento rotativo do helicóide que, à semelhança de um parafuso, ao ser rodado, o sem-fim arrasta o material ao longo do corpo do transportador. É apresentado de seguida, um desenho ilustrativo deste tipo de transportadores [16], ver figura 14.

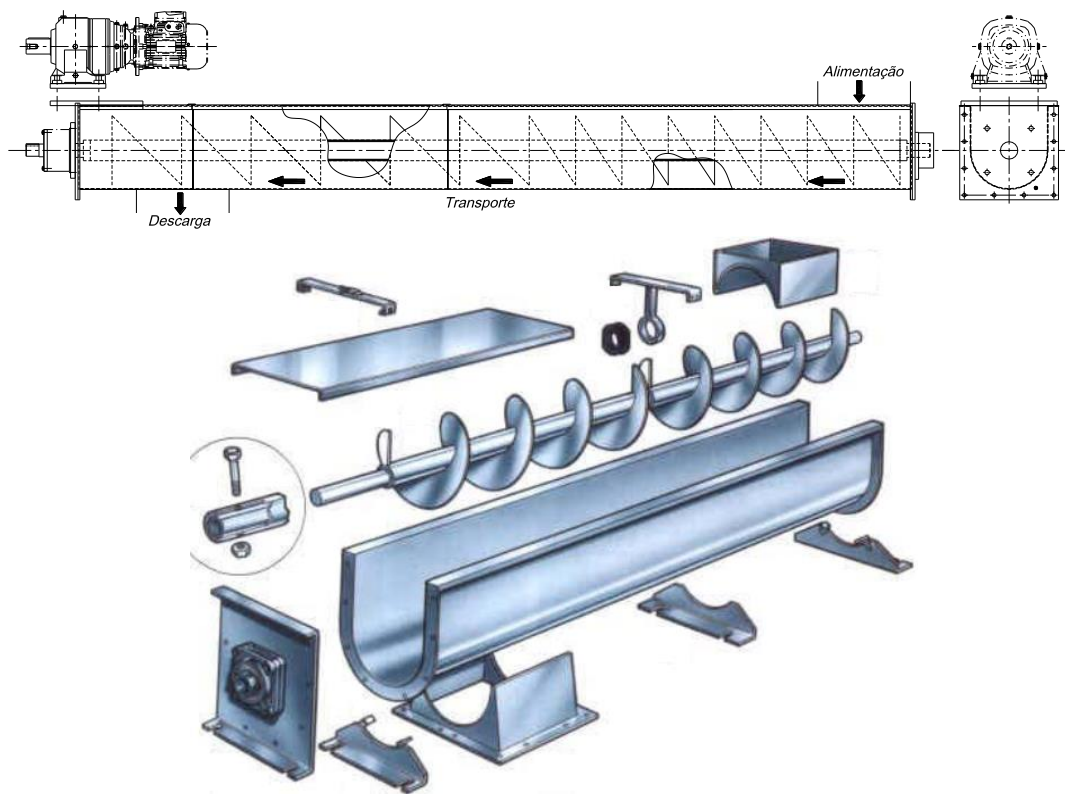


Figura 14 – Exemplo de transportador sem-fim [18].

2.3.4 Transportador tipo Elevador

Os elevadores de alcatruzes são equipamentos de movimentação de granéis sólidos no plano vertical. À semelhança dos transportadores do tipo “Redler”, os elevadores de alcatruzes são compostos pelo corpo do elevador, pelo conjunto de arrasto, pelo acionamento e pelas estações motriz e tensora, vulgarmente designadas por, respetivamente, cabeça e pé.

O corpo do Elevador tem estrutura paralelepipedica, hermeticamente fechada, que pode ser simples, ou composta por dois canos, ver figura 15. Este, à semelhança dos “Redlers”, pode ser feito em diferentes materiais como aço carbono, galvanizado ou não, ou aço inoxidável, mais utilizado em ambientes húmidos ou corrosivos. Os painéis exteriores podem ainda ser revestidos por um painel interior de proteção dos mesmos, quando são feitos de aço carbono e transportam material húmido ou corrosivo. Os baldes transportadores podem ter muitas configurações diferentes, de acordo com o material a transportar [16].



Figura 15 – Exemplo de transportador de Elevador [19].

2.4 Equipamento de queima

Fornalha é a denominação genérica que se dá para o local onde se queima o combustível e de onde partem os produtos desta combustão. É formada por duas partes distintas:

- O aparelho de combustão.
- A câmara de combustão.

O aparelho de combustão compreende um conjunto de componentes que oferecem as condições necessárias para a queima de combustível. Exemplos de aparelhos de combustão são as grelhas rotativas, as grelhas basculante, o queimador a óleo, a gás, etc.

A câmara de combustão é representada por um volume adequadamente dimensionado onde se desenvolve a chama e se completa a combustão, além de proporcionar a proteção e os suportes necessários para o aparelho de combustão.

A fornalha deve:

- Evaporar toda a humidade do combustível libertando os seus voláteis.
- Elevar a temperatura do combustível até à ignição espontânea, permitindo uma combustão imediata.
- Fazer a mistura ar/combustível, normalmente com excesso de ar.
- Impedir a perda de calor dos fumos produzidos no seu interior para o exterior.

No interior da fornalha as paredes devem ser revestidas com uma camada de tijolos refratários responsáveis por reter o calor no interior da fornalha, e por isso devem ter refratariedade e alto ponto de fusão, resistência ao choque térmico e dilatação quase nula.

A fixação desses tijolos é feita com argamassa refratária. Os principais componentes dos materiais refratários são o óxido de sílica, óxido de magnésio, grafite e silício. Recomenda-se que, quando se utilizam tijolos refratários novos, se aplique pouco calor nas primeiras horas e se vá aumentando gradualmente a sua temperatura, até os tijolos atingirem as suas características de operação.

2.4.1 Classificação das fornalhas

Existem várias maneiras de classificar-se este componente importante dos geradores de vapor. Optou-se pela classificação que engloba todas as fornalhas em apenas duas categorias:

- Fornalhas que queimam sobre suporte.
- Fornalhas de queima em suspensão.

A primeira categoria engloba todas as fornalhas que queimam combustíveis sólidos a granel, grosseiramente divididos, picados e fragmentados.

A segunda diz respeito à queima de combustíveis líquidos, gasosos ou sólidos finamente pulverizados que podem ser queimados em suspensão.

2.4.2 Fornalhas sob suporte

As fornalhas sob suporte congregam uma série de concepções construtivas especificamente projetadas para a obtenção das melhores condições necessárias aos variados combustíveis disponíveis para a queima.

Segundo a quantidade de combustível manipulado, seu grau de divisão e mecanização da alimentação, as fornalhas sobre suporte são subdivididas em dois grupos:

- Fornalha de suporte estático: neste grupo todas as fornalhas o combustível é depositado nas grelhas, permanecendo praticamente em repouso sobre as mesmas até a sua completa extinção. Enquadram-se nesse grupo as seguintes fornalhas:
 - Fornalhas de grelhas planas, ver figura 16.
 - Fornalhas com grelhas basculantes, ver figura 17.
 - Fornalha de grelha em escada, ver figura 18.
 - Fornalha de grelha arrefecida inclinada, ver figura 19.
- Fornalha de suporte movimentado: grande número de concepções construtivas enquadram-se nesta segunda subdivisão de fornalhas de suporte. As principais características que se distinguem das anteriores reside no seguinte:
 - Alimentação contínua e mecanizada do combustível.
 - Suportes constituídos por componentes que percorrem toda extensão do plano inferior da fornalha com movimento contínuo assegurado por acionamento mecânico.

De acordo com o mecanismo aplicado para provocar o deslocamento do combustível, distingue-se os seguintes tipos:

- Grelha móvel por arrasto, ver figura 21.

- Grelha com alimentação por baixo, ver figura 22.
- Grelha oscilante, ver figura 23.
- Grelha com esteira contínua, ver figura 24.

No caso do presente trabalho a fornalha em consideração é de grelhas fixas, podendo ser acoplado um sistema para as tornar basculantes, por isso só se tratará, nesta tese, deste tipo de fornalha. As outras acima referidas são apenas apresentadas nas figuras ilustrativas.

2.4.2.1 Fornalha de suporte estático de grelhas planas

Este tipo de fornalhas são adequadas para a queima de lenha em toros até um metro de comprimento. A sua aplicação é limitada à máxima produção de vapor de 20 t/h. Todo o suporte, seja grelhas ou travessões, são de ferro fundido.

Como se pode verificar na figura 16 neste tipo de fornalhas, o combustível entra na fornalha projetado para cima da grelha onde vai ficar em repouso até queimar totalmente, as suas cinzas caem na parte inferior da grelha, sendo depois recolhidas e deitadas fora. Como se pode ver também existe a insuflação de ar em diversos pontos da fornalha. Ar primário, que é insuflado por baixo das grelhas, faz com que a queima seja rica ou pobre, ou seja se é feita com excesso ou falta de ar. Normalmente esta queima é feita com excesso de ar. Noutra ponto é insuflado ar secundário, formando uma cortina para garantir que não sejam arrastados nos fumos, para fora da chaminé, partículas de grandes dimensões. Os gases resultantes da queima sobem, fazendo depois o aquecimento do fluido que se está a utilizar como fluido de trabalho.

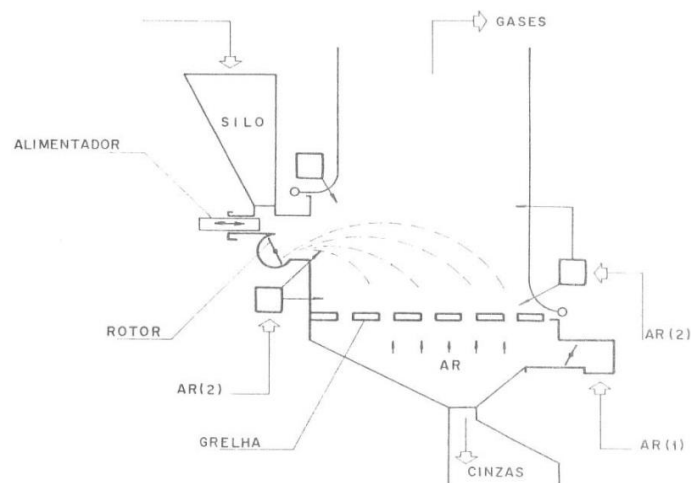


Figura 16 – Grelha plana fixa.

Na fornalha com grelha plana basculante, o procedimento é o mesmo que a plana fixa. Como se observa na figura 17, a grelha é formada por piso plano constituído por placas perfuradas. O ar é insuflado por baixo do piso basculante. As placas apoiam-se em varões lisos que giram em torno de mancais laterais mediante a ação de um pistão pneumático. A cada ação do pistão corresponde uma ligeira rotação, durante o qual as cinzas caem no cinzeiro, fazendo assim uma melhor limpeza das grelhas.

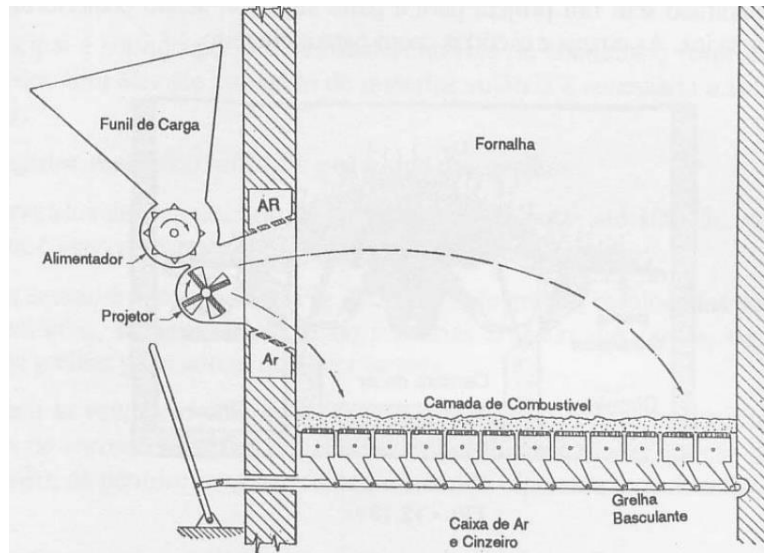


Figura 17 – Grelha plana basculante.

- Imagens das fornalhas referidas:

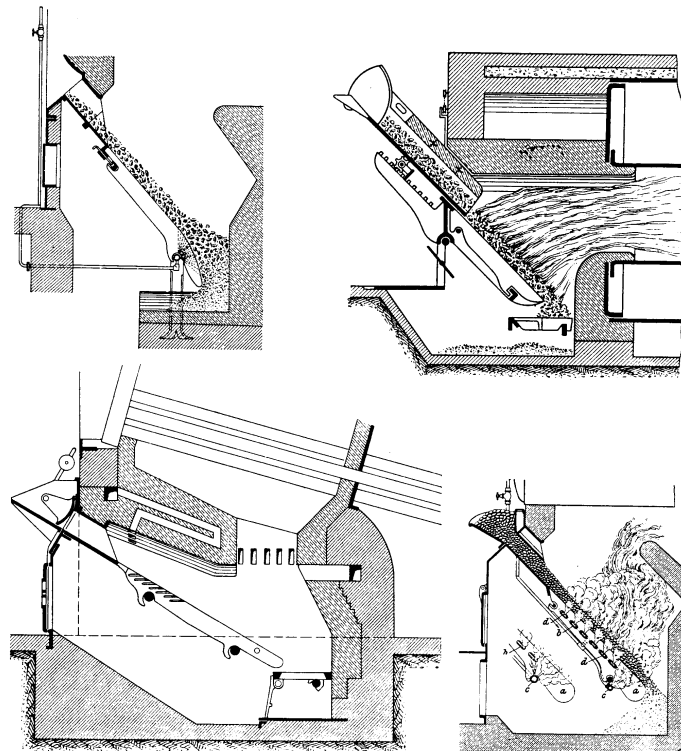


Figura 18 – Quatro exemplos de grelhas em escada [26].

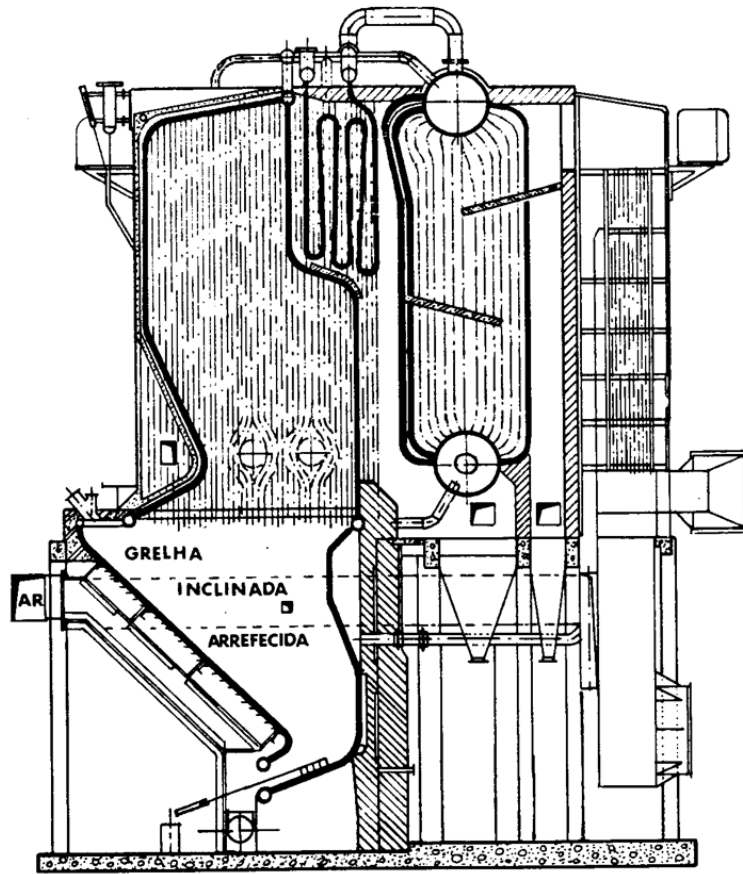


Figura 19 – Gerador de vapor com grelhas inclinadas arrefecidas [26].

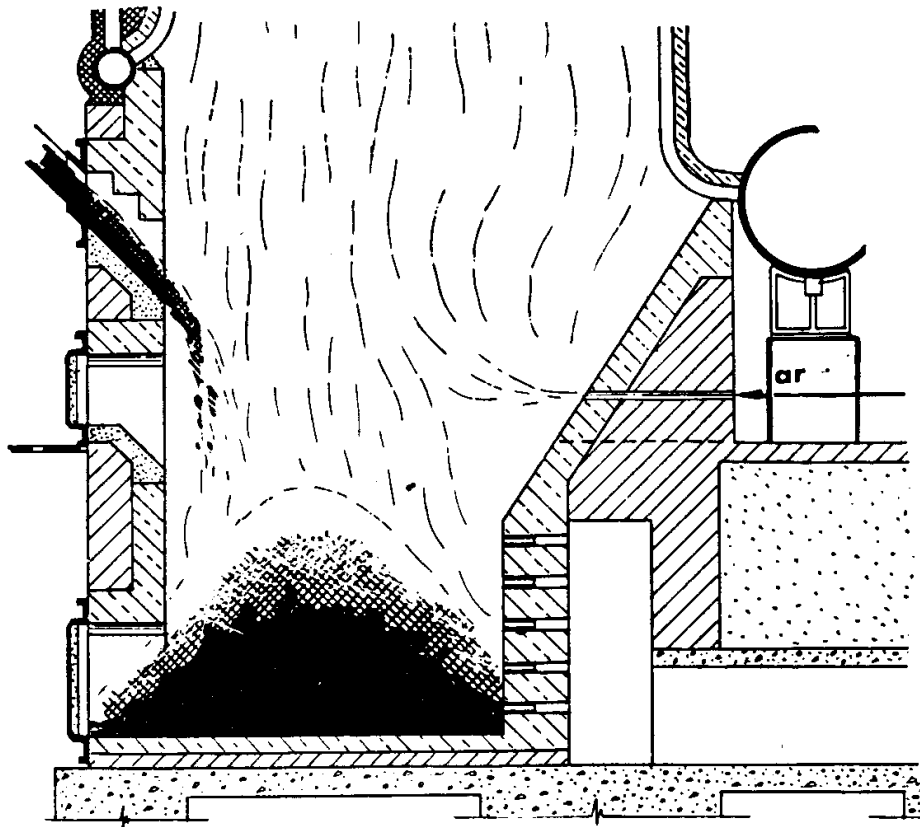


Figura 20 – Fornalha celular [26].

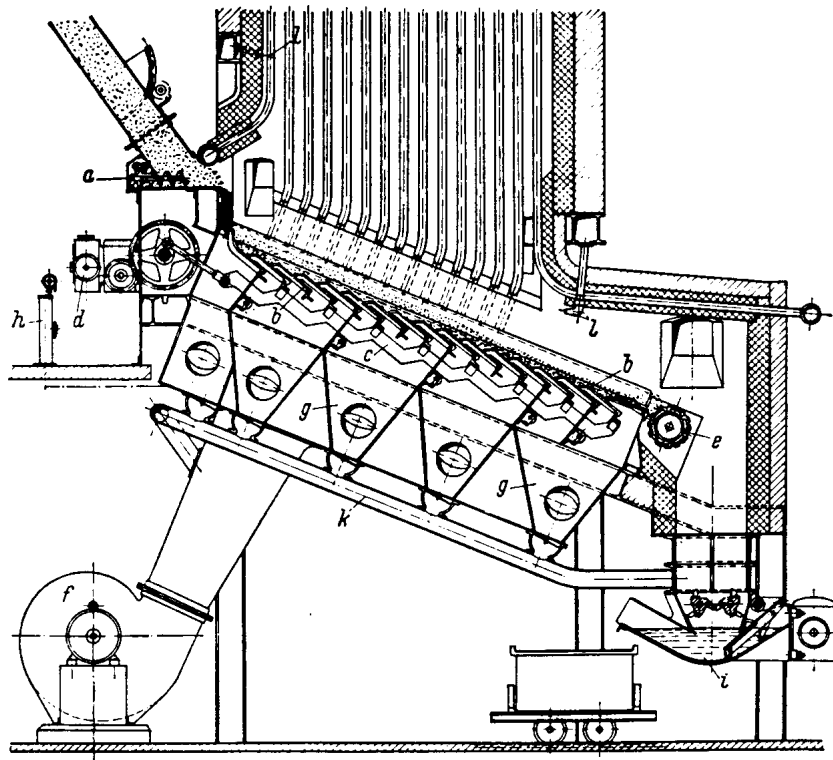


Figura 21 – Grelha inclinada móvel por arrasto [26].

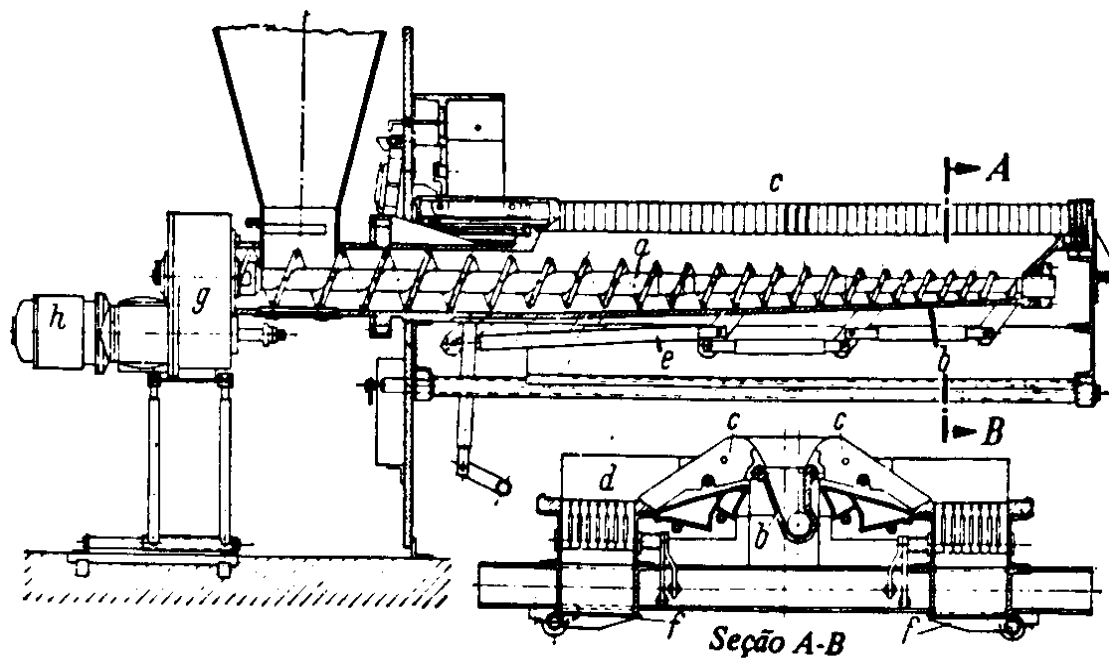


Figura 22 – Grelha de alimentação por baixo [26].

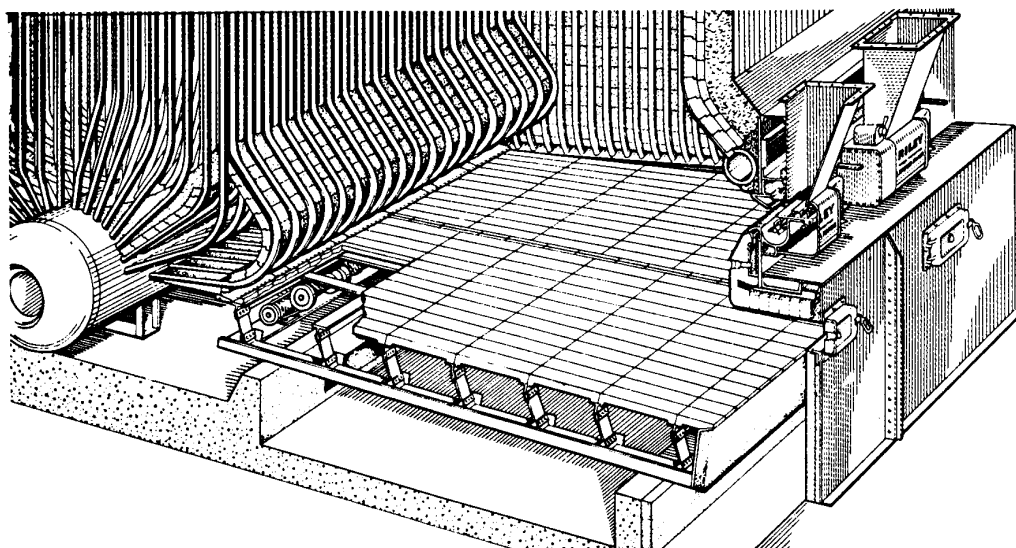


Figura 23 – Grelha com movimento oscilatório [26].

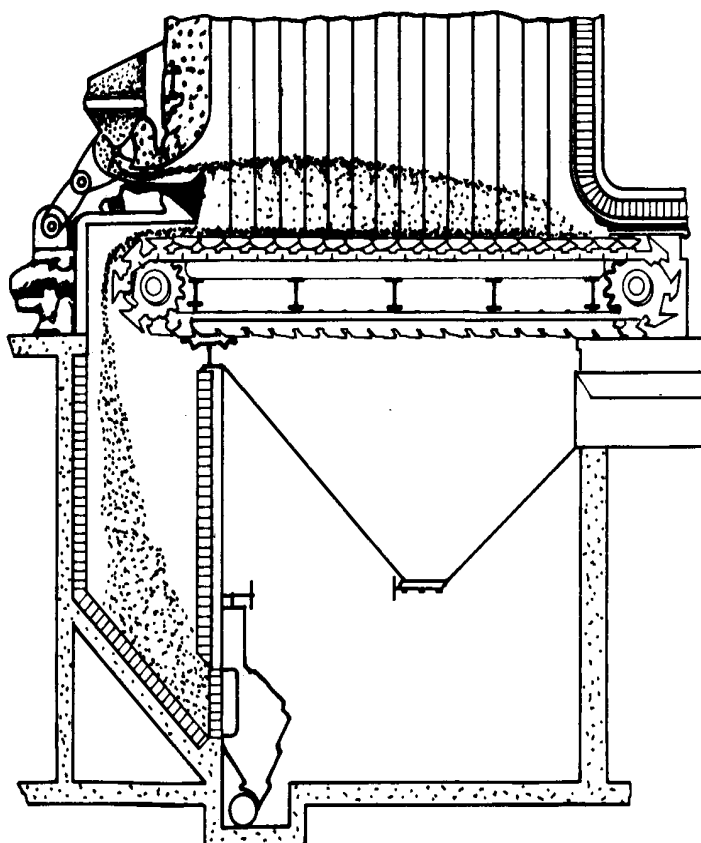


Figura 24 – Grelha com esteira continua [26].

2.4.3 Características da ante-fornalha NORBIDEL

2.4.3.1 Geral

A ante-fornalha é do tipo de paredes tubulares arrefecidas, de forma paralelepípedica, com capela superior. A queima de combustíveis sólidos é feita em cima de grelhas refratárias fixas, ver figuras de 31 a 34, e será acoplada a um gerador de vapor.

A ante-fornalha possuirá as seguintes características:

- Marca NORBIDEL
- Modelo NB AF6000-12
- Tipo Aquotubular
- Fluidos Grupo2, (Água e Vapor saturado) [1]
- Classe de Risco IV [1]
- Módulo avaliação de conformidade B + F [1]
- Pressão de serviço (PS) 12 bar (rel.)
- Temperatura min. /máx. 20 / 190,7 °C
- Superfície de aquecimento 75 m²
- Capacidade total de água 1921 Litros
- Queima Combustíveis sólidos
- Código de construção TRD [2]

2.4.3.2 Códigos de construção utilizados

- Legislação aplicável Decreto-Lei n.º 211/99 de 14 de Junho [1]
- Código de cálculo TRD [2]
- Norma Europeia EN 12952-5 (Controlo dimensional) [3]

As fórmulas usadas para o cálculo de construção da ante-fornalha está exemplificado no anexo C.

O Decreto-Lei 211/99, de 14 de junho, transpõe para o ordenamento jurídico português a Diretiva n.º 97/23/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 29 de maio, e estabelece as regras a que devem obedecer o projeto, o fabrico e a avaliação da conformidade, a comercialização e a colocação em serviço dos equipamentos sob pressão. As disposições deste diploma aplicam-se aos equipamentos sob pressão e aos conjuntos sujeitos a uma pressão de serviço (PS) superior a 0,5 bar (rel.).

Estão abrangidos os seguintes equipamentos sob pressão (ESP):

- Depósitos para ar comprimido.
- Reservatórios hidropneumáticos.
- Geradores de vapor.

- Geradores de água sobreaquecida.
- Geradores de termofluido.
- Reservatórios para GPL ou GN.
- Equipamentos criogénicos sob pressão.
- Reservatórios de amoníaco.
- Tubagens.
- Conjuntos processuais.
- Outros equipamentos sob pressão.

As regras técnicas para os equipamentos sob pressão (TRD), refletem o atual estado de requisitos de segurança para os materiais, construção, equipamentos, montagem, inspeção e testes, bem como o funcionamento dos mesmos. A TRD contém as fórmulas que se devem utilizar para o cálculo da resistência mecânica das partes do ESP que estão sob pressão, possibilitando a escolha do material, bem como a espessura da chapa a usar na sua construção.

A Norma Europeia EN 12952-5 [3] é usada para se fazer o controlo dimensional dos tubos com curvatura que constituem o ESP, controlando as espessuras e a sua ovalização.

2.4.3.3 Classificação do ESP (Decreto-Lei 211/99)

Em função dos riscos (Art.º 7º):

- Fluidos : Água + Vapor saturado
- Fluidos não perigosos : Grupo 2

Avaliação da conformidade e procedimentos (Art.º 4º, Art.º 8º, Art.º 9º, Anexo II)

- Pressão de serviço : PS = 12 bar (rel.)
- Volume total : V = 1921 l > 1000 l
 $PS \times V = 12 \times 1921 = 23052 \text{ bar.l}$ (2)
- Classe de risco da ante-fornalha (Art.º 4º, Anexo II; tab nº 5) : IV
- Módulo de avaliação de conformidade (Anexo II) : B+F

2.4.3.4 Funcionamento ante-fornalha/gerador de vapor:

Os fumos provenientes da queima serão extraídos através de um ventilador e o percurso dos gases será: gerador de vapor (3 passagens) / ciclones separador de partículas / economizador / ventilador e chaminé.

2.4.3.5 Partes principais da ante-fornalha

2.4.3.5.1 Ligações ao corpo de pressão

A ante-fornalha possuirá as seguintes tubagens de interligação com corpo de pressão do gerador de vapor, ver figura 25:

- Dois coletores inferiores de água que se interligarão na parte inferior do corpo de pressão feitos com os seguintes materiais:
 - Tubo aço sem costura \varnothing 168,3 x 7,11 - ASTM A106 Gr.B.
 - Flange W.N/R.F. DN150 PN16 DIN2633.
 - Flange W.N/R.F. DN25 PN16 DIN2633.
 - Flange cega DN150 PN16 DIN2527.
- Um coletor superior de água, localizado sensivelmente a meio do espelho da frente do corpo cilíndrico, em que serão utilizados os seguintes materiais:
 - Tubo aço sem costura \varnothing 219,1 x 8,18 - ASTM A106 Gr.B.
 - Redução excêntrica \varnothing 219,1/ \varnothing 114,3 x 8,18 - ASTM A234WPB (tubagem de ligação ante-fornalha / gerador de vapor).



Figura 25 – Coletores inferiores, superior e tubular de ligação entre os coletores.

- Um coletor superior de vapor seco, localizado na parte superior do espelho da frente do corpo cilíndrico, em que serão utilizados os seguintes materiais, ver figura 26:
 - Tubo aço sem costura \varnothing 141,3 x 6,55 - ASTM A106 Gr.B.
 - Curva 90° \varnothing 141,3 x 6,55 - ASTM A234WPB.



Figura 26 – Coletor superior vaso seco.

- Uma conduta de exaustão de fumos, em chapa de aço carbono, isolada interiormente com tijolo refratário, será soldada no topo da fornalha do gerador de vapor, localizado no espelho da frente do corpo cilíndrico, ver figura 27.

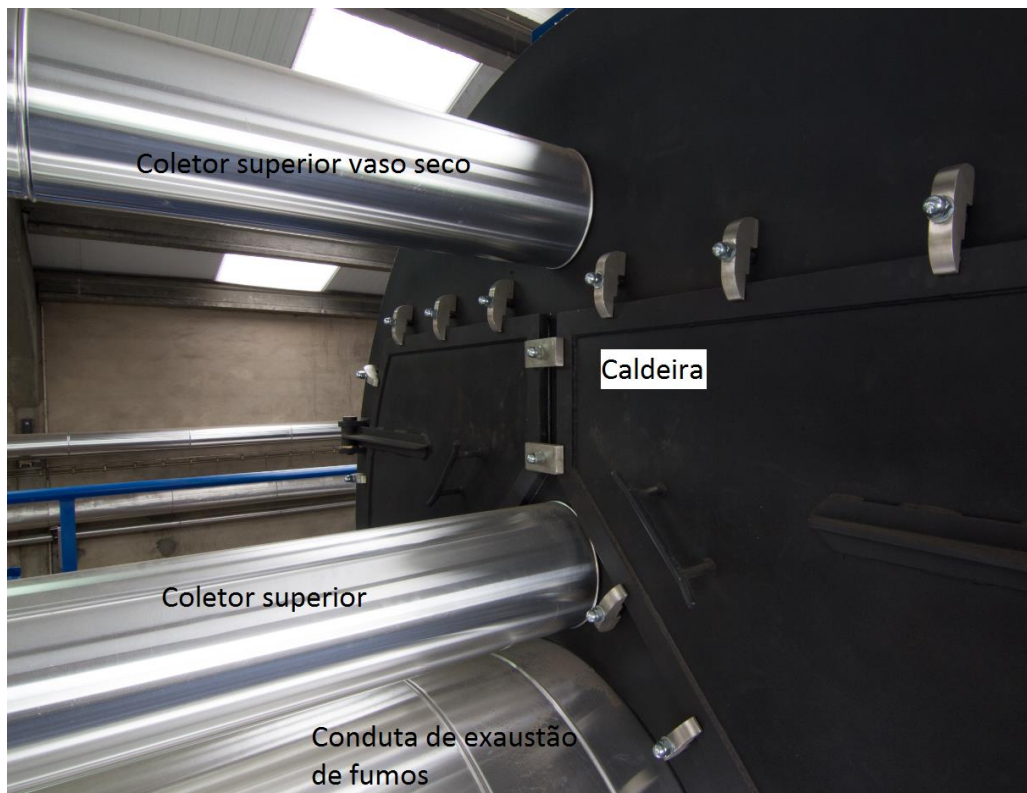


Figura 27 – Ligação dos coletores e conduta de exaustão de fumos à caldeira.

- O tubular de ligação entre os coletores da ante-fornalha são feitos nos seguintes materiais, ver figura 25:
 - Tubo aço sem costura $\varnothing 60,3 \times 4$ - ASTM A106 Gr.B.
 - Tubo aço sem costura $\varnothing 73 \times 5,16$ - ASTM A106 Gr.B.
 - Tubo aço sem costura $\varnothing 88,9 \times 5,49$ - ASTM A106 Gr.B.

2.4.3.5.2 Tubuladuras

Tubuladuras de ligação de equipamentos e de sistema de inspeção e limpeza, inseridas no corpo de pressão, ver anexo D, onde estão identificadas as características dos materiais usados:

- T1 – Tubo aço sem costura $\varnothing 33,7 \times 3,38$ - duas purgas manuais, ver figura 28.
- T2 – Tubo aço sem costura $\varnothing 168,3 \times 7,11$ - duas flanges de inspeção/limpeza, coletores inferiores água (parede da frente), ver figura 28.

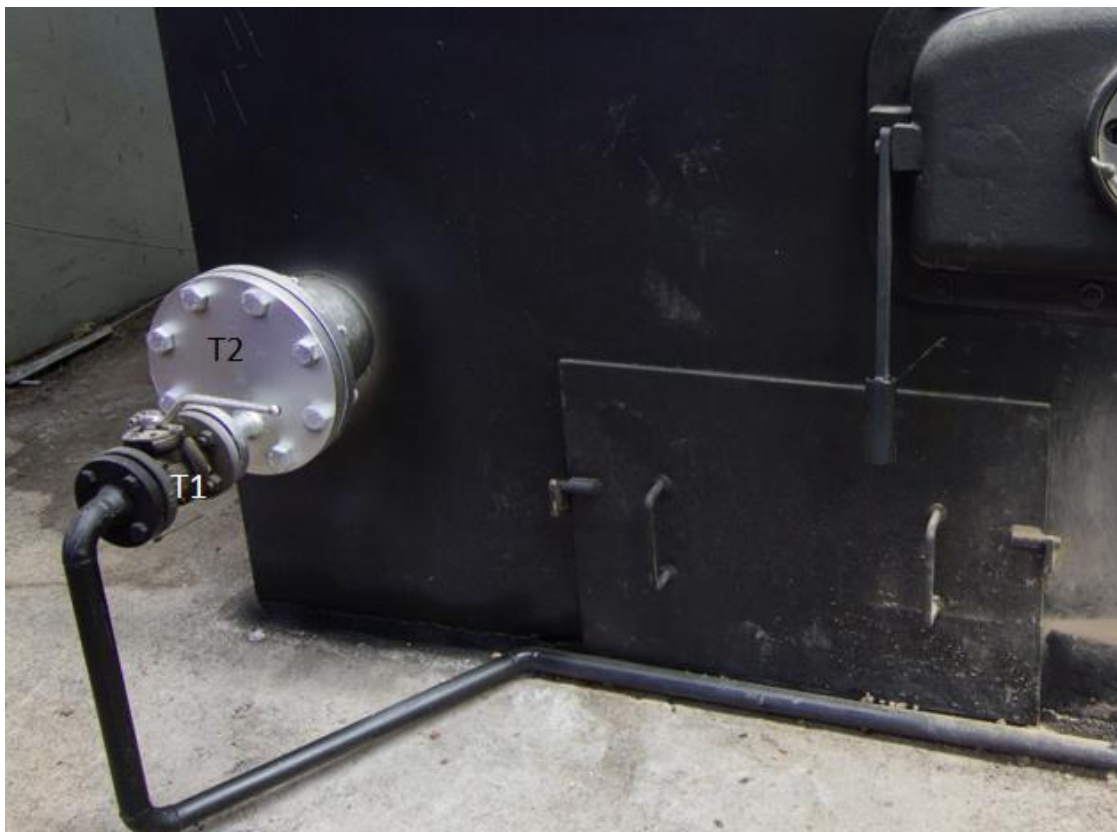


Figura 28 – Purga manual (T1) e inspeção/limpeza (T2).

- T3 – Tubo aço sem costura $\varnothing 219,1 \times 8,18$ - uma flange de inspeção/limpeza, coletor superior água, ver figura 29.



Figura 29 – Inspeção/limpeza (T3).

- T4 – Tubo aço sem costura \varnothing 88,9 x 5,49 – duas flanges de inspeção/limpeza, coletor inferior água (parede traseira), ver figura 30.
- T5 – Tubo aço sem costura \varnothing 60,3 x 4 - duas flanges de inspeção/limpeza, coletor inferior água (parede da frente), ver figura 30.

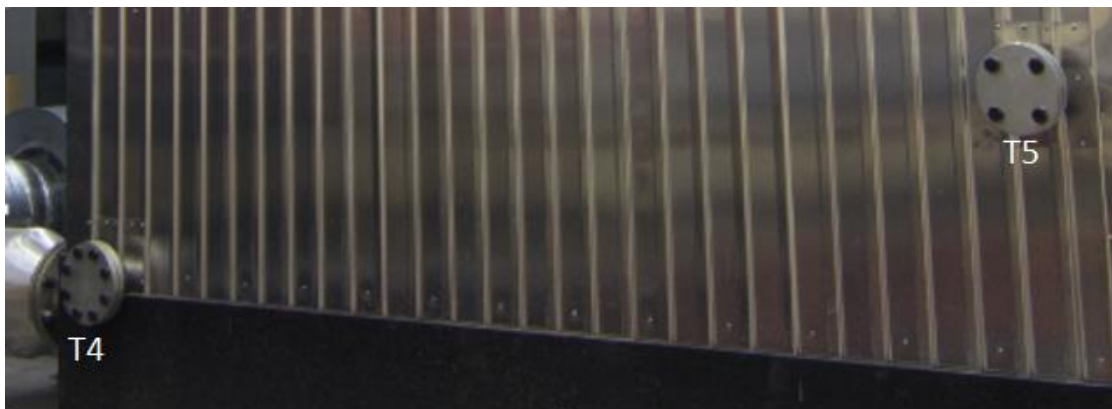


Figura 30 – Inspeção/limpeza (T4 e T5).

2.4.3.6 Queima de combustível

A queima de combustíveis sólidos é feita no interior da ante-fornalha, em cima de grelhas refratárias circundadas por paredes de betão refratário, e a transferência de calor para o feixe tubular dá-se por radiação e por convecção.

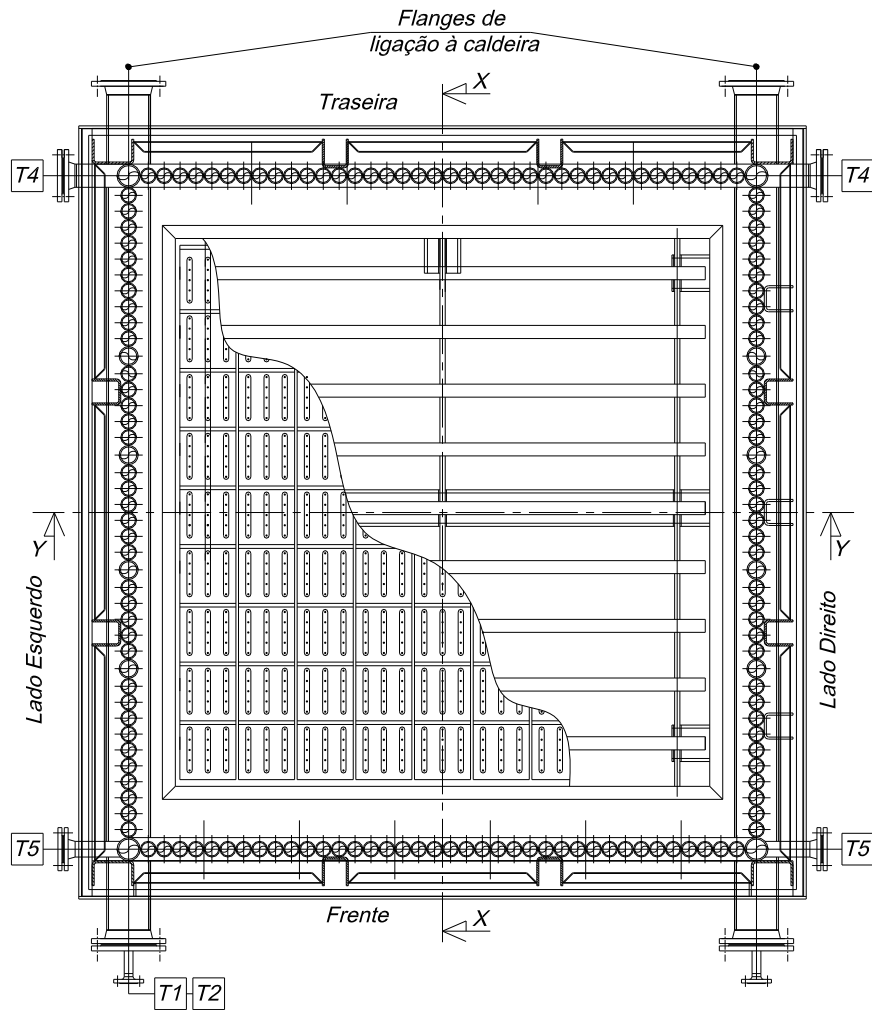


Figura 31 – Planta da grelha.

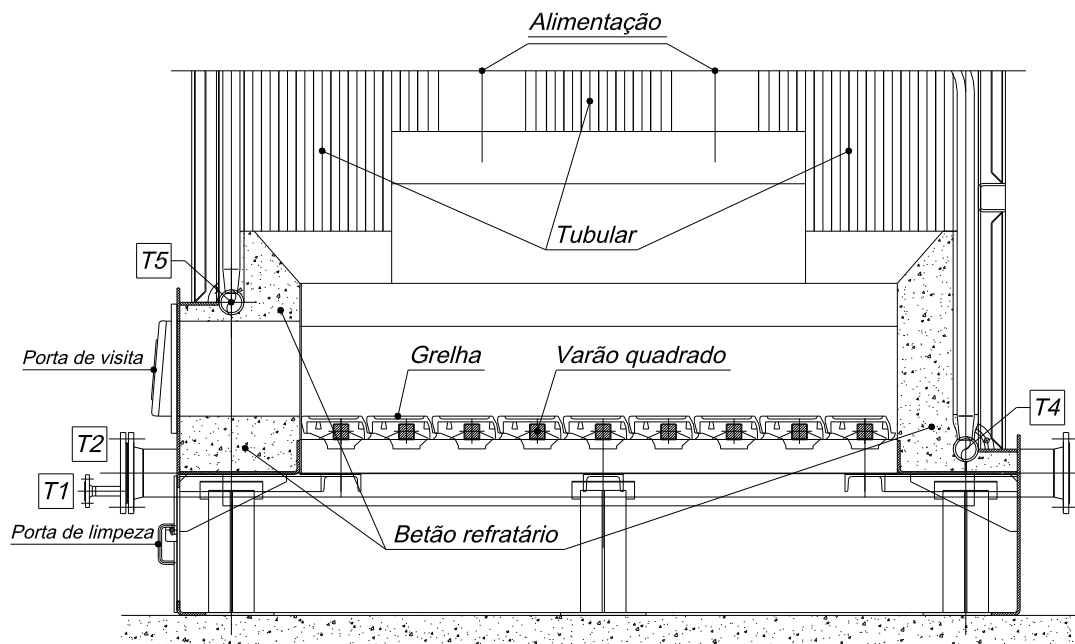


Figura 32 – Corte da grelha X-X.

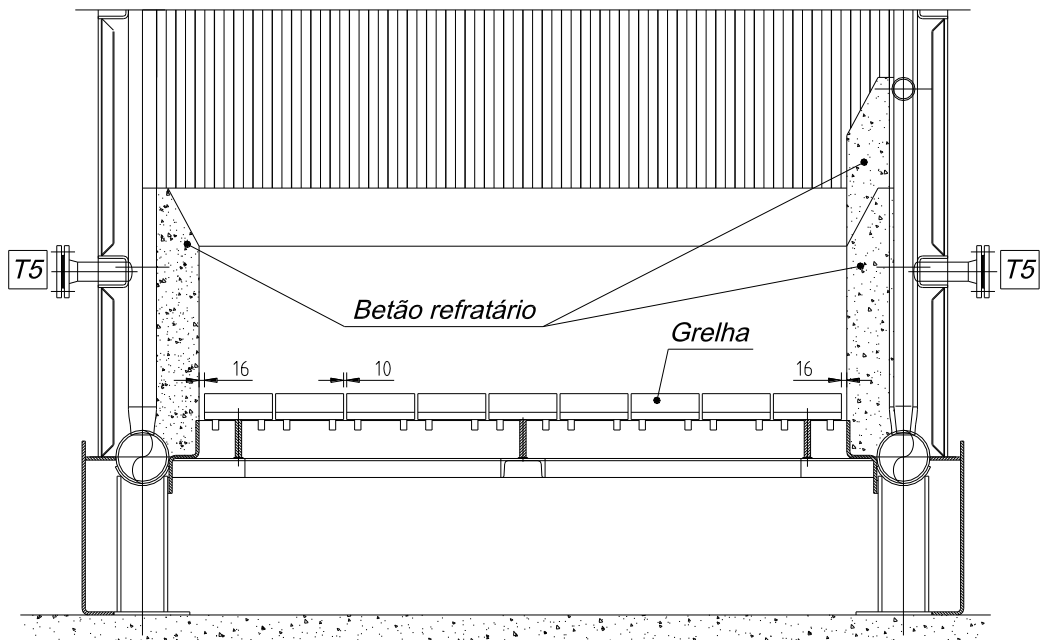


Figura 33 – Corte da grelha Y-Y.



Figura 34 – Pormenor da grelha usada pela NORBIDEL.

Como se pode verificar nas figuras 31 à 34 a grelha usada é de ferro fundido perfurada, sendo suportada por um veio de secção quadrada que atravessa as mesmas. As grelhas têm entre elas uma folga de 10 mm, sendo isto garantido por um espaçador fabricado também em ferro fundido, há a frio uma folga de 16 mm para o betão refratário.

2.4.3.7 Sistema de queima e regulação de potência

A queima a efetuar na ante-fornalha será regulada para debitar, no máximo, a potência térmica correspondente à carga térmica máxima prevista para o gerador de vapor, não devendo esta potência, nunca ser ultrapassada (ponto 7.3 das I.T.C. aprovadas por Despacho n.º 22332/2001 (2.ª. Série) de 30 de Outubro) [4].

Este decreto aprovou o regulamento de instalação, funcionamento, reparação e alteração de equipamentos sob pressão, remetendo para instruções técnicas

complementares (ITC) as respectivas regras técnicas aplicáveis a equipamentos da mesma família.

A regulação da potência térmica na ante-fornalha é efetuada em função da variação da pressão de vapor, funcionando da seguinte forma:

- Arranque, sempre no regime de queima mínimo, com excesso de ar e pouco combustível.
- Funcionamento, sempre em função da variação de pressão, através de variadores de frequência, quer no sistema de ventilação (ar primário), quer no sistema de alimentação de péletes (transportador sem-fim).

2.4.3.8 Sistema de inspeção e limpeza

Lado da água:

- Colocação de flanges cegas em todos os coletores de água, para permitir a inspeção e limpeza de todas as paredes tubulares.

Lado dos gases, ver figura 35:

- Uma porta (A) com registo de ar, de acesso à parte superior das grelhas refratárias, para permitir a inspeção e limpeza do feixe tubular, dos refratários e das grelhas.
- Duas portas amovíveis (B) de acesso à parte inferior das grelhas (cinzeiro) para permitir a inspeção e limpeza do mesmo.

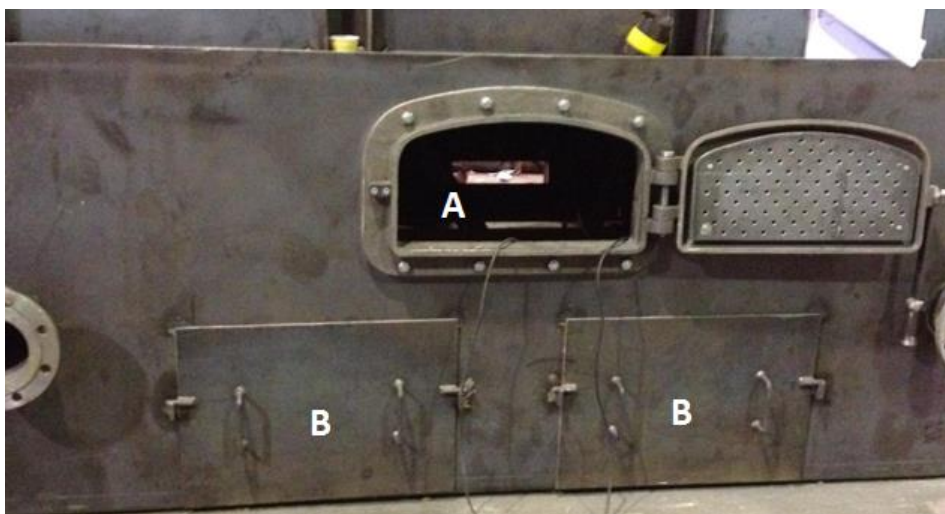


Figura 35 – Portas de acesso à parte inferior e superior das grelhas.

2.4.3.9 Válvularia e instrumentos

A ante-fornalha é equipada com:

- Duas válvulas de seccionamento DN25 PN16 para permitir a purga manual, ver figura 36.



Figura 36 – Válvula de seccionamento.

- Uma sonda de depressão 3/8" roscada, para permitir medir a depressão.
- Uma sonda de temperatura 1/2" roscada, para permitir medir a temperatura.

2.4.3.10 Especificações da qualidade da água de alimentação

Este item foi referido no ponto 2.8.

2.4.3.11 Parâmetros de segurança e limites de funcionamento

Parâmetros de segurança:

- Parâmetros de regulação, para além dos quais a ante-fornalha/caldeira, não poderá funcionar, devendo entrar em segurança por corte da energia de aquecimento, (paragem do sistema de alimentação de combustível):
 - Nível muito baixo da água no gerador de vapor.
 - A pressão máxima de vapor, deverá ser inferior à pressão da regulação das válvulas de segurança da caldeira.

Isolamento térmico:

- O isolamento térmico da ante-fornalha será efetuado com:
 - Interior:

- Betão refratário com 130 a 400 mm de espessura, 1650 kg/m³ de massa volúmica.
- Exterior, ver figura 37:
 - Betão refratário isolante, suficiente para tapar os tubos, 1650 kg/m³ de massa volúmica.
 - Papel isolante de 5 mm de espessura, 200 kg/m³ de massa volúmica, 0,12 W/mK de condutividade térmica.
 - Manta cerâmica de 13 mm de espessura, 128 kg/m³ de massa volúmica, 0,14 a 0,28 W/mK de condutividade térmica.
 - Placa de silicato de 25 mm de espessura, 170 a 230 kg/m³ de massa volúmica, 0,056 a 0,093 W/mK de condutividade térmica.
 - Papel isolante de 5 mm de espessura.
 - “Almofadas” em chapa de aço carbono de 3 mm de espessura.
 - Manta de lã de rocha com 50 mm de espessura e 100 kg/m³ de massa volúmica, 0,041 a 0,231 W/mK de condutividade térmica.
 - Chapa de alumínio da liga 3003, de 0,8 mm de espessura de revestimento exterior (proteção mecânica).

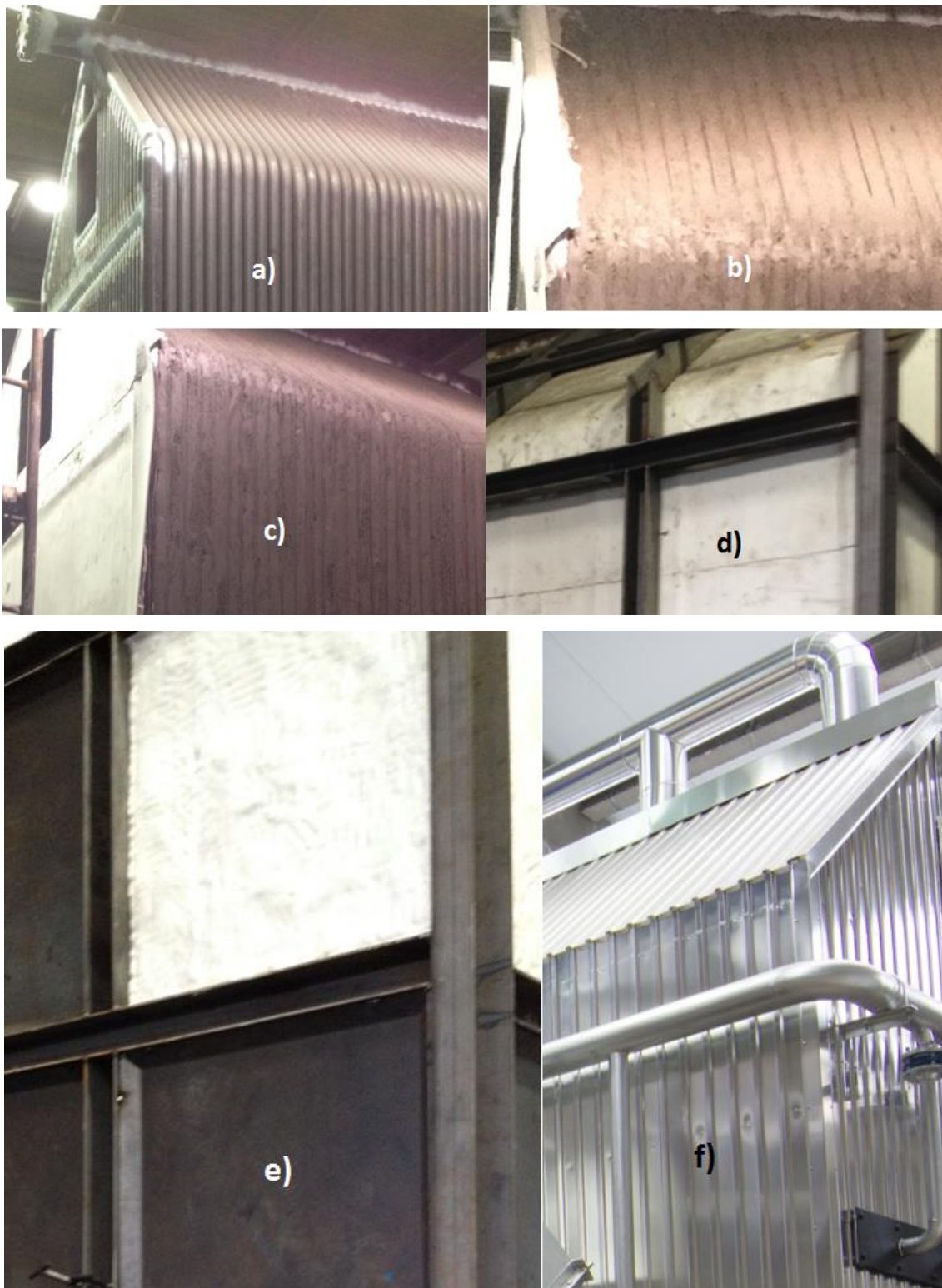


Figura 37 – Isolamento da ante-fornalha, a) tubular sem isolamento, b) colocação do betão refratário isolante, c) e d) colocação do papel isolante, e) colocação da manta cerâmica e “almofadas” em chapa de aço carbono, f) colocação de chapa de alumínio

2.4.3.12 Colocação em serviço

Autorização de colocação em serviço:

- O equipamento não poderá ser colocado em funcionamento sem previamente haver sido aprovada a sua instalação e dada autorização de funcionamento ao abrigo do Decreto-Lei n° 90/2010, de 22 Julho e Instrução Técnica Complementar aprovada pelo Despacho n° 22332/2001 (2ª série) de 30 Outubro [4].

2.5 Gerador de Vapor

A caldeira é um contentor fechado e pressurizado no qual um fluido é aquecido ou vaporizado para uso externo, ou seja, noutras partes do processo. A transferência de calor direta pode provir da combustão de gás natural, carvão, nafta, biomassa, e até mesmo de energia elétrica, nuclear ou solar.

A produção de vapor de água, quer pela sua elevada disponibilidade, baixo custo, não-toxicidade e propriedades, pode ter como objetivo a produção de energia elétrica, de calor no processo industrial ou a conjugação de ambos. Normalmente a vaporização é a que requer caldeiras de maiores dimensões e que operem a maiores pressões.

A classificação das caldeiras divide-se em três tipos principais: quanto à localização dos fluidos (as pirotubular, aquotubular e as aquo-piro-tubular), quanto à pressão de operação (alta ou baixa) e relativamente à sua função (de aquecimento ou vaporização).

2.5.1 Caldeira Pirotubular

As caldeiras pirotubulares [23] podem ser horizontais, verticais, de combustão interna ou externa aos tubos. As de tubos horizontais possuem uma estrutura simples e são mais apropriadas para operarem a baixa pressão. As que operam na vertical podem ter tubos de diâmetros menores e maior eficiência. As caldeiras pirotubulares, nas quais os gases de combustão passam nos tubos e que a combustão é interna a estes, transferem parte da sua energia térmica para o fluido, que se encontra no lado da caixa, e são bastante comuns em instalações industriais de pequena e média dimensão. Uma vantagem é o facto de a caixa não estar exposta ao calor radiativo do fogo, prolongando o seu tempo de vida. A pressão de funcionamento adequada encontra-se na gama dos 10 bar aos 20 bar (rel.) e o caudal de vapor produzido pode variar das 0,03 t/h às 20 t/h. A transferência de calor é em função da área, da condutibilidade do material dos tubos, da diferença de temperatura entre ambos os fluidos, do tempo de residência, tal como das características da chama, do número de passagens e velocidade dos gases de

combustão. Portanto, são próprias para a produção de água quente e de vapor de água a baixa e média pressão até uma temperatura de cerca de 220 °C, ver figuras 38 e 39.

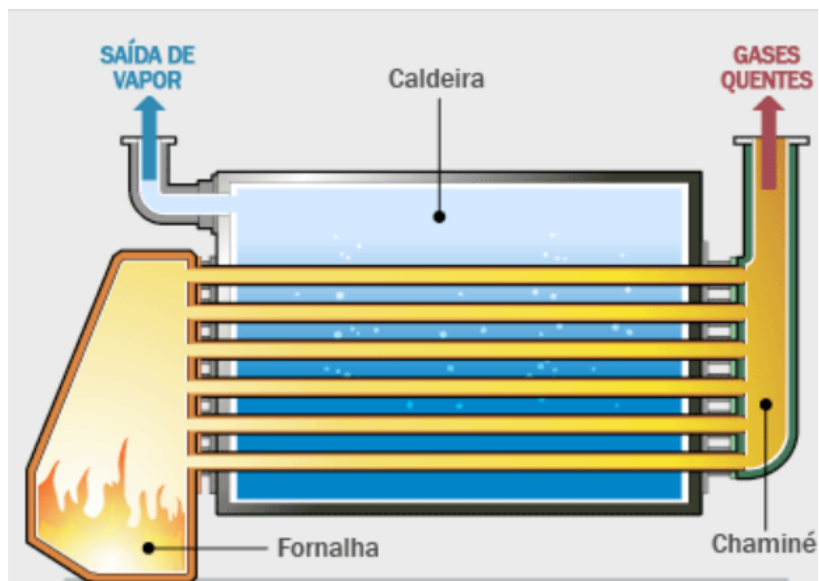


Figura 38 – Exemplo de uma caldeira pirotubular acoplada a uma ante-fornalha.

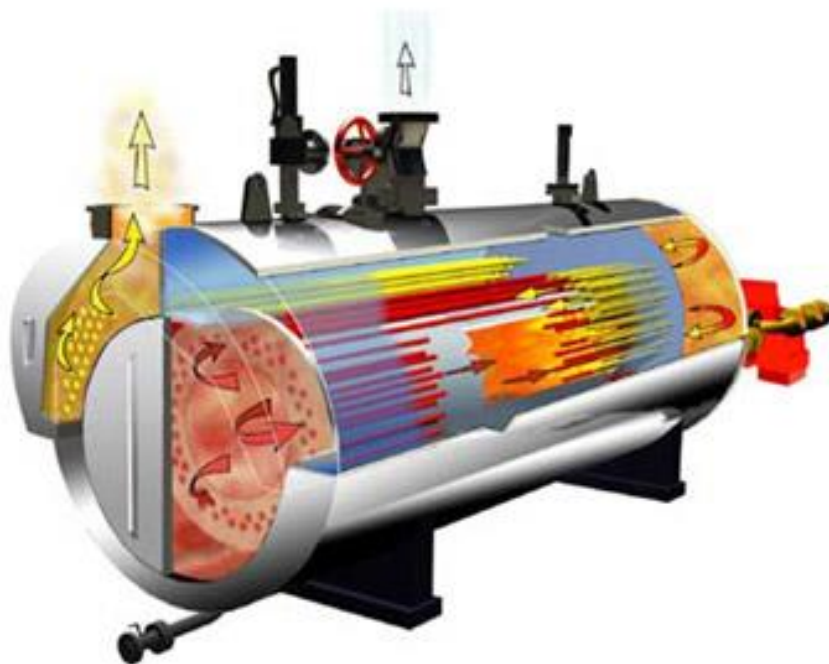


Figura 39 – Exemplo de uma caldeira pirotubular.

2.5.2 Caldeira Aquotubular

Por sua vez, as caldeiras aquotubulares [23] são apropriadas para a geração de vapor no interior da sua tubuladura, sendo a sua capacidade em função do número de tubos que

a atravessam. Podem ser de circulação natural ou forçada e com uma ou várias passagens dos tubos.

São apropriadas para a produção de vapor de média e alta pressão e água quente. A pressão de funcionamento é regularmente inferior a 20 bar (rel.) e o caudal de vapor debitado menor que as 22 t/h, existindo casos de algumas especificamente construídas para operar a pressões superiores a 24 bar (rel.).

Outro aspeto positivo é a sua configuração e o volume necessários serem independentes da fornalha. As caldeiras aquotubulares são próprias para a queima de combustíveis sólidos e, no caso de os tubos serem internos à fornalha, podem-se usar chicanas para maximizar o contacto e o número de passagens do gás com os tubos, ver figuras 40 e 41.

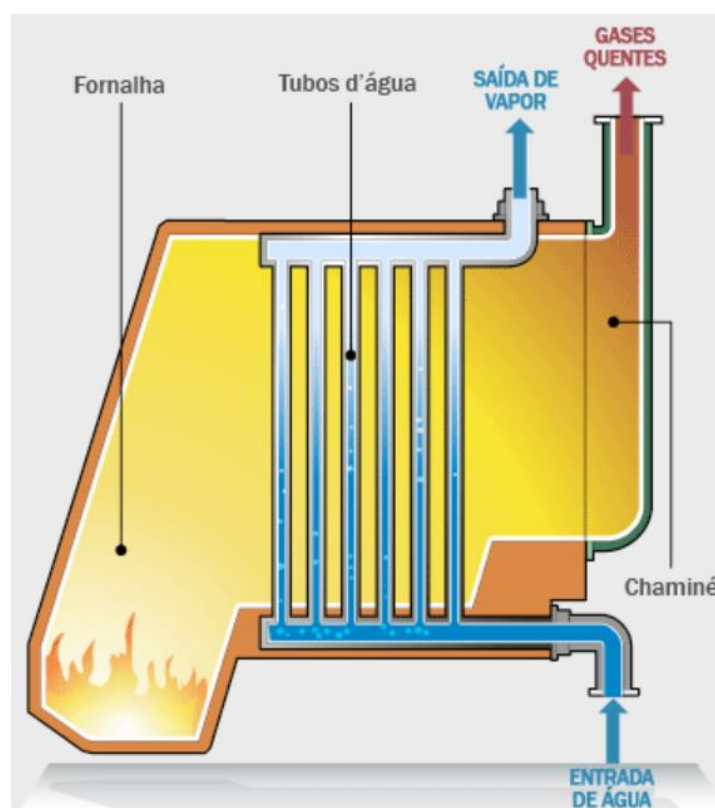


Figura 40 – Exemplo de uma caldeira aquotubular.

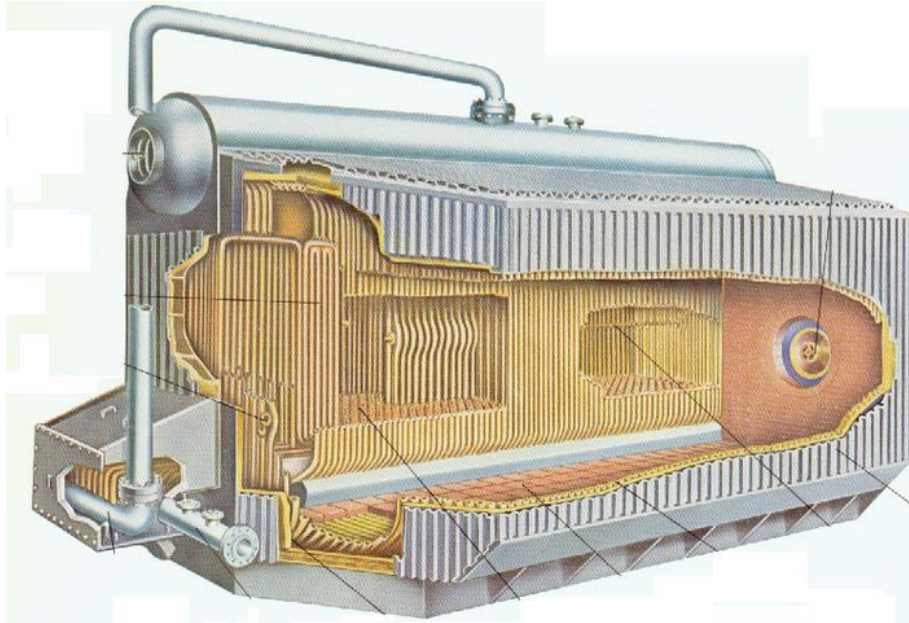


Figura 41 – Exemplo de uma caldeira aquotubular.

2.5.3 Caldeira aquo-piro-tubular.

As caldeiras aquo-piro-tubulares [23] são um misto entre a tecnologia das caldeiras pirotubulares e aquotubulares, no sentido em que tanto a água como os gases de combustão circulam em sistemas independentes do lado dos tubos. São apropriadas para a geração de vapor de água de média ou alta pressão em instalações industriais de média e grande dimensão.

Em torno do interior da fornalha encontra-se instalado um sistema de tubos, que cobre as quatro paredes de membrana e o topo, com a função de aumentar a área de aquecimento da água, com um sistema de comunicação que possibilita uma melhor deslocação das correntes de água entre as várias zonas. Estes tubos estão revestidos com uma tinta especial resistente a altas temperaturas e de cor vermelha para melhor refletirem a radiação IV, para que a chama atinja temperaturas mais elevadas.

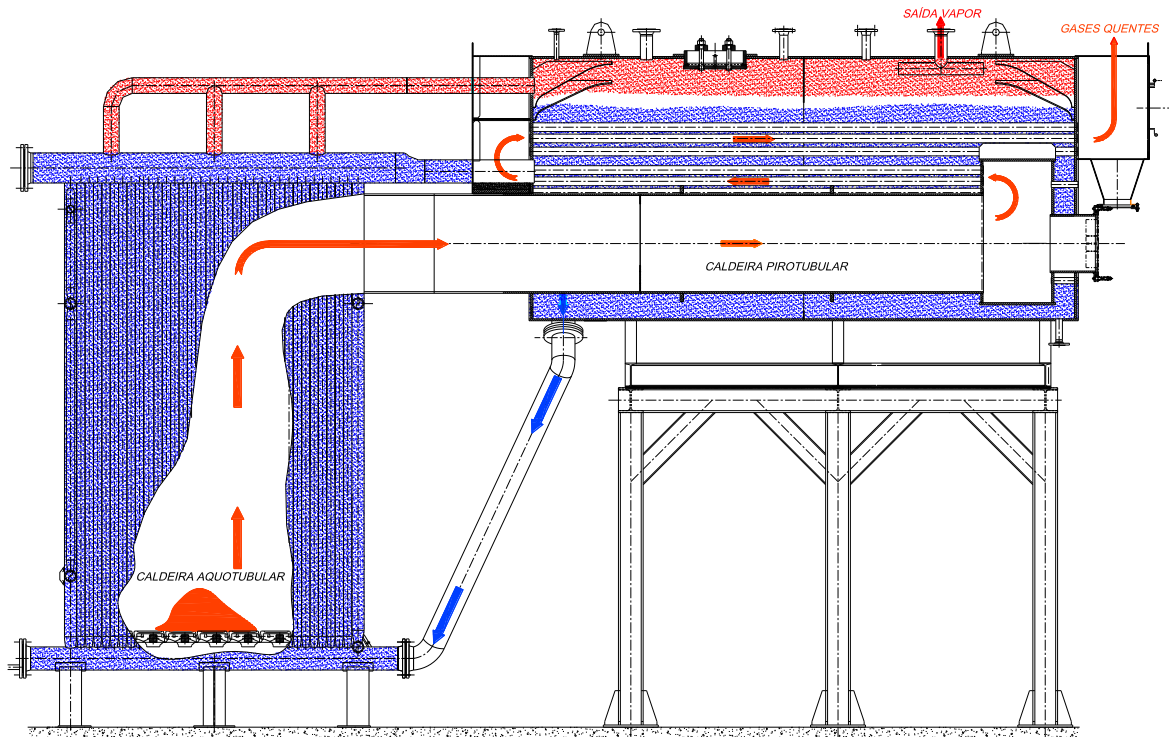


Figura 42 – Exemplo de uma caldeira aquo-piro-tubular.

Como podemos ver na figura 42, na caldeira aquotubular a água circula por dentro dos tubos enquanto na piro-tubular a água circula por fora do tubular. Já os gases de combustão acontece o contrário, eles são formados na parte interior da caldeira aquotubular, circulando na parte exterior dos tubos, enquanto na piro-tubular circula por dentro do tubular da caldeira. A água tem uma circulação natural entre a aquotubular e a piro-tubular, sendo esta aquecida pelas diversas passagens dos gases de combustão nos tubos das duas caldeiras, produzindo assim vapor.

2.5.4 Características da Caldeira Norbidel

2.5.4.1 Geral

É um gerador de vapor piro-tubular, automático de tripla passagem de gases, cuja fonte energética utilizada no aquecimento é a combustão automática de péletes. A circulação dos gases de combustão é forçada, efetuando as três passagens da seguinte forma, ver figura 43:

- Primeira passagem: desde a grelha da ante-fornalha através do tubo da fornalha até à primeira caixa de inversão.
- Segunda passagem: desde a primeira caixa de inversão através do primeiro feixe tubular até à segunda caixa de inversão.

- Terceira passagem: desde a segunda caixa de inversão através do segundo feixe tubular até à saída de gases pela parte traseira da caldeira.

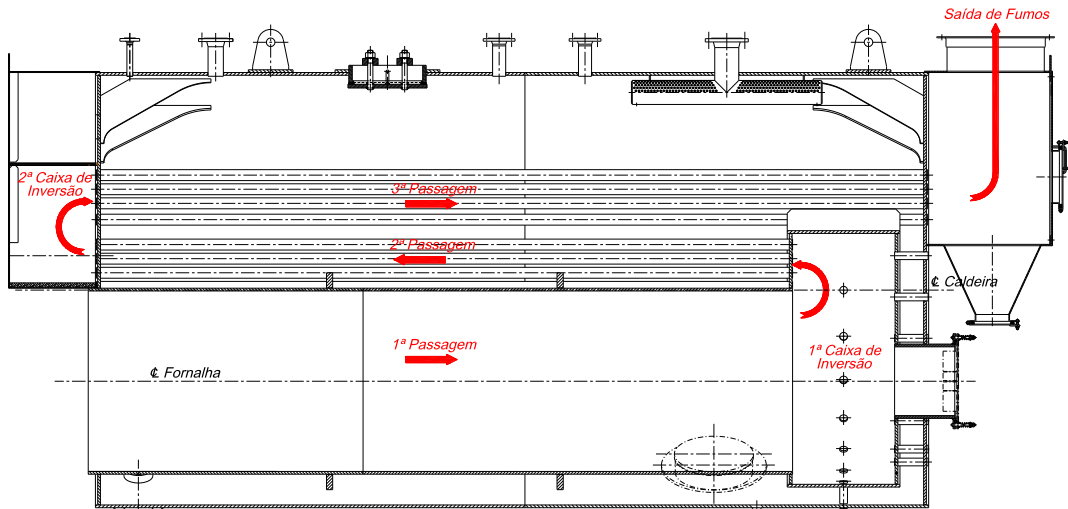


Figura 43 – Circulação dos gases de combustão na caldeira pirotubular.

As características principais da caldeira são:

- | | |
|------------------------------------|--|
| • Marca | NORBIDEL |
| • Modelo | NB B6000-12 |
| • Fluidos | Grupo2, (Água e Vapor saturado) [1] |
| • Classe de Risco | IV [1] |
| • Módulo avaliação de conformidade | B+F [1] |
| • Pressão de serviço (PS) | 12 bar (rel.) |
| • Temperatura min. /máx. | 20 / 190,7 °C |
| • Vaporização máxima | 6000 kg/h |
| • Superfície de aquecimento | 150 m ² |
| • Capacidade total de água | 16170 litros |
| • Combustível | Gases de combustão de combustíveis sólidos |
| • Código de construção | TRD [2] |

2.5.4.2 Códigos de construção utilizados

- | | |
|------------------------|--|
| • Legislação aplicável | Decreto-Lei nº 211/99 de 14 de Junho [1] |
| • Código de cálculo | TRD [2] |

As fórmulas usadas para o cálculo de construção da caldeira está exemplificado no anexo C.

2.5.4.3 Classificação do ESP (Decreto-Lei 211/99)

Em função dos riscos (Art.º 7º):

- Fluidos Água sobreaquecida+ Vapor saturado
- Fluidos não perigosos Grupo 2

Avaliação da conformidade e procedimentos (Art.º 4º, Art.º 8º, Art.º 9º, Anexo II)

- Pressão de serviço PS = 12 bar (rel.)
- Volume total V = 16170 l > 1000 l

$$PS \times V = 12 \times 16170 = 194040 \text{ bar.l} \quad (3)$$

- Classe de risco da caldeira (Art.º 4º, Anexo II; tab. nº 5) : IV
- Módulo de avaliação de conformidade (Anexo II) : B+F

2.5.4.4 Partes principais da caldeira

2.5.4.4.1 Corpo de pressão

O seu conjunto no essencial é composto por:

- Virola cilíndrica exterior (corpo de pressão) construída em chapa de aço enrolada a frio e soldadas com uma soldadura longitudinal e circular, unindo assim duas ou mais virolas constituintes do corpo de pressão.
- Espelhos planos, um posterior e um anterior, em chapa de aço, sendo a sua furação efetuadas a laser, com a exceção dos furos dos tubos de fumos simples que serão executados na máquina de furar radial. Estes espelhos são soldados ao corpo de pressão, ver figura 44.

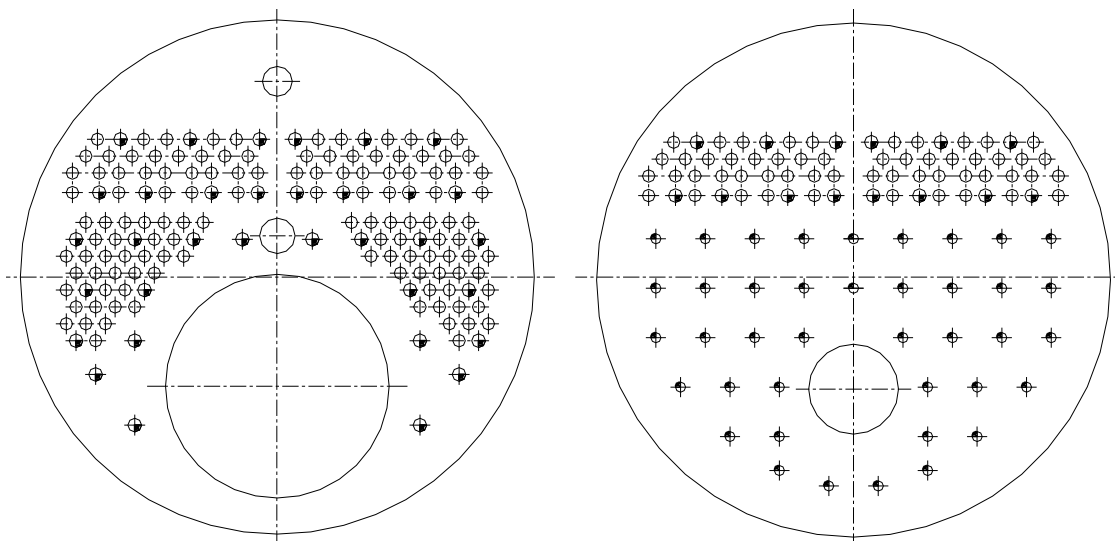


Figura 44 – Espelho da frente e da traseira da caldeira.

- Tubo fornalha liso (câmara de combustão) cilíndrico, horizontal, interior e completamente imerso em água, construído em chapa de aço enrolada a frio, sendo soldado ao espelho da frente do corpo de pressão e do espelho da frente da caixa de inversão, ver figura 46.
- Caixa interior de inversão dos gases da combustão, imersa em água, cilíndrica, constituída por virola enrolada a frio e espelhos planos em chapa de aço, localizada na extremidade do tubo da fornalha, lado oposto ao queimador. Sendo os espelhos soldados à virola, ver figuras 45 e 46.

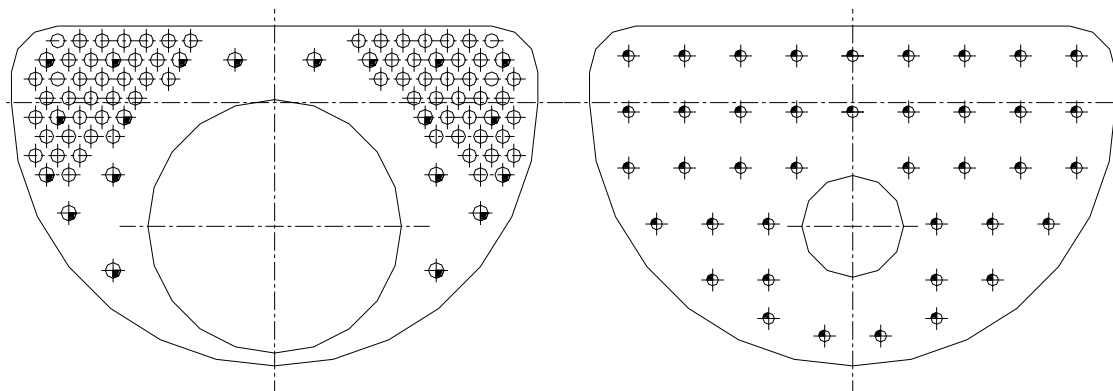


Figura 45 – Espelho da frente e traseira da caixa de inversão.

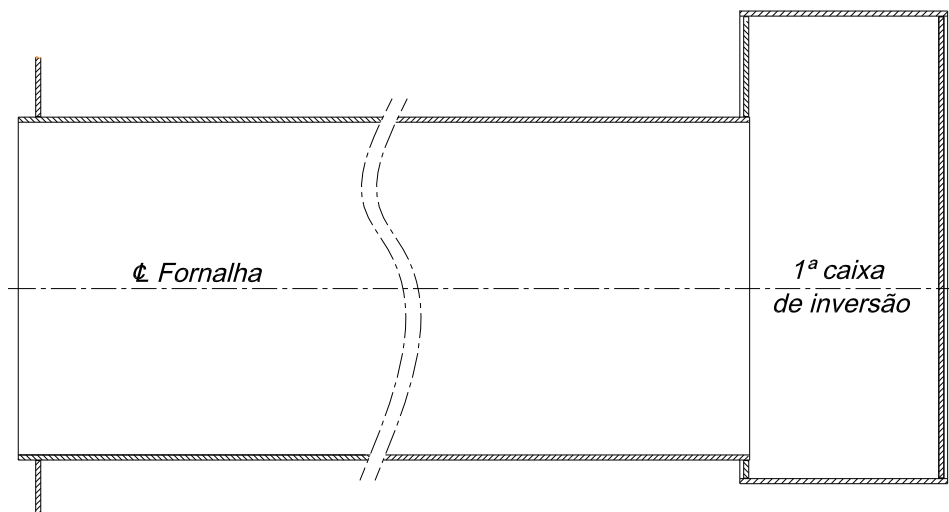


Figura 46 – Ligação do espelho da frente/fornalha/caixa de inversão.

- Sessenta e oito tubos de fumos, completamente imersos em água, constituindo a segunda passagem de gases, sendo que 20 deles são tubos escora, entre a caixa de inversão e o espelho da frente do corpo de pressão.

- Cinquenta e quatro tubos de fumos, completamente imersos em água, constituindo a terceira passagem de gases, sendo que 14 deles são tubos escora, entre espelho da frente e de trás do corpo de pressão.
- Os tubos de escora serão soldados aos espelhos frontais da caldeira e caixa de inversão (2ª passagem) e soldados aos espelhos frontal e traseiro da caldeira (3ª passagem).
- Os tubos de fumos simples serão previamente recozidos nas extremidades, sendo posteriormente expandidos mecanicamente com mandris e máquinas apropriadas, contra as paredes interiores dos furos dos espelhos, sendo depois soldados com uma soldadura de selagem.
- Esquadros em chapa de aço, soldados pelo interior, à envolvente cilíndrica exterior e aos tampos planos do corpo, na zona da câmara de vapor, para servir de reforço.
- Escoras soldadas para escoramento espelho traseiro da caldeira / espelho traseiro da caixa de inversão imersa.
- Escoras soldadas para escoramento cinta da caixa de inversão / virola do corpo de pressão.

Nas figuras 47, 48 e 49 estão identificados alguns dos elementos constituintes do corpo de pressão da caldeira referidos em cima.

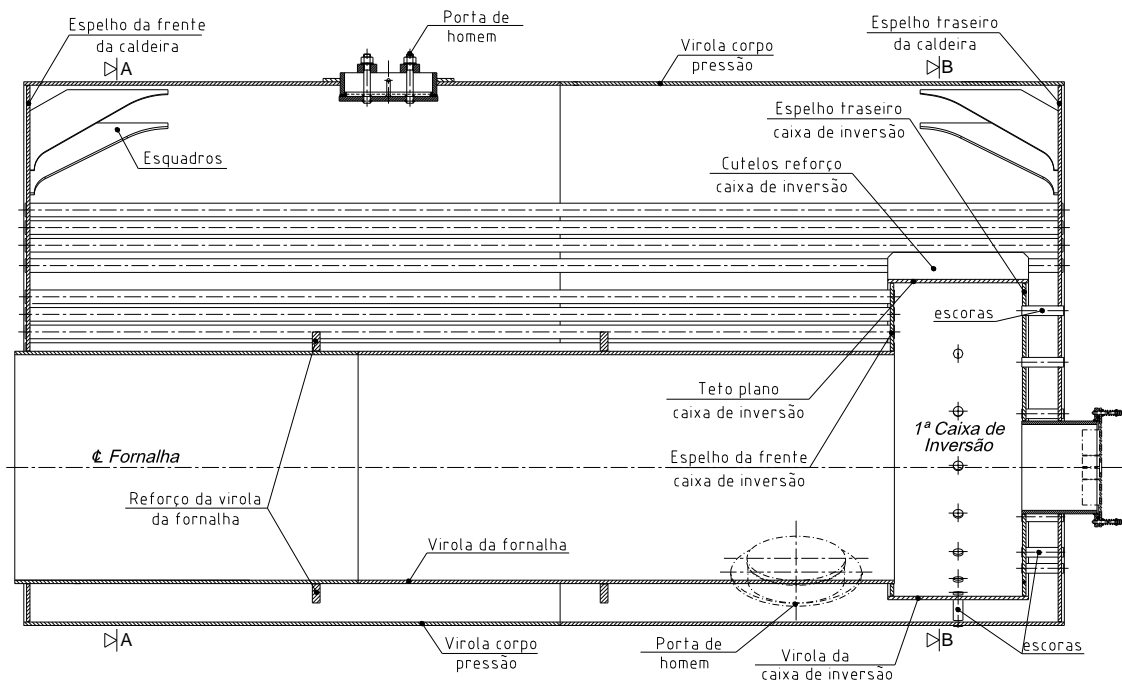


Figura 47 – Elementos constituintes do corpo de pressão da caldeira.

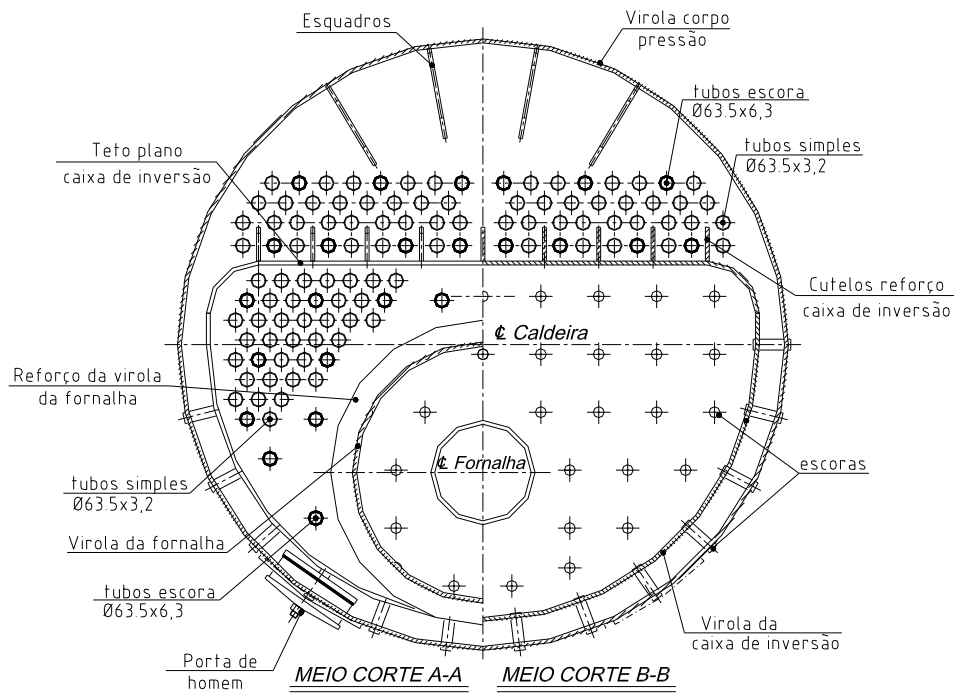


Figura 48 – Elementos constituintes do corpo de pressão da caldeira.

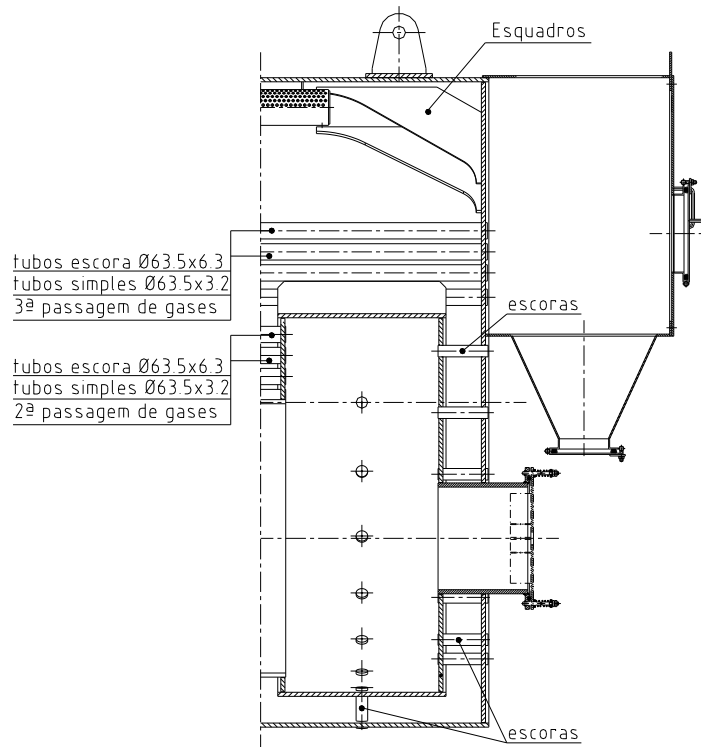


Figura 49 – Esquadros e escoras.

- Estrutura suporte e base de apoio.
- Isolamento térmico será efetuado:
 - Manta de lã de rocha com 100 mm de espessura e 100 kg/m³ de massa volúmica.

- Chapa de alumínio, de 0,8 mm de espessura de revestimento exterior (proteção mecânica).

2.5.4.4.2 Tubuladuras de ligação

Tubuladuras de ligação de equipamentos e de interligação à instalação, inseridas no corpo de pressão, ver figuras 50 e 51, ver anexo D, onde estão identificadas as características dos materiais usados:

- T1 – Tubo sem costura $\varnothing 33,7 \times 3,38$ - vapor auxiliar, manómetro e pressostatos.
- T2 – Tubo sem costura $\varnothing 88,9 \times 5,49$ - eléctrodo de nível de segurança.
- T3 – 310 x 410 – duas entradas de homem.
- T4 – Tubo sem costura $\varnothing 73 \times 5,16$ – duas válvulas de segurança.
- T5 – Tubo sem costura $\varnothing 141,3 \times 6,55$ - saída de vapor principal.
- T6 – Tubo sem costura $\varnothing 48,3 \times 3,68$ - purga de fundo.
- T7 – Tubo sem costura $\varnothing 33,7 \times 3,38$ - indicador de nível.
- T8 – Tubo sem costura $\varnothing 33,7 \times 3,38$ - controlador de nível.
- T9 – Tubo sem costura $\varnothing 60,3 \times 4$ - água de alimentação.
- T10 – Tubo sem costura $\varnothing 168,3 \times 7,11$ - água de alimentação à ante-fornalha.
- T11 – Tubo sem costura $\varnothing 168,3 \times 7,11$ - água quente de alimentação à caldeira.
- T12 – Tubo sem costura $\varnothing 141,3 \times 6,55$ - vapor de alimentação à caldeira.

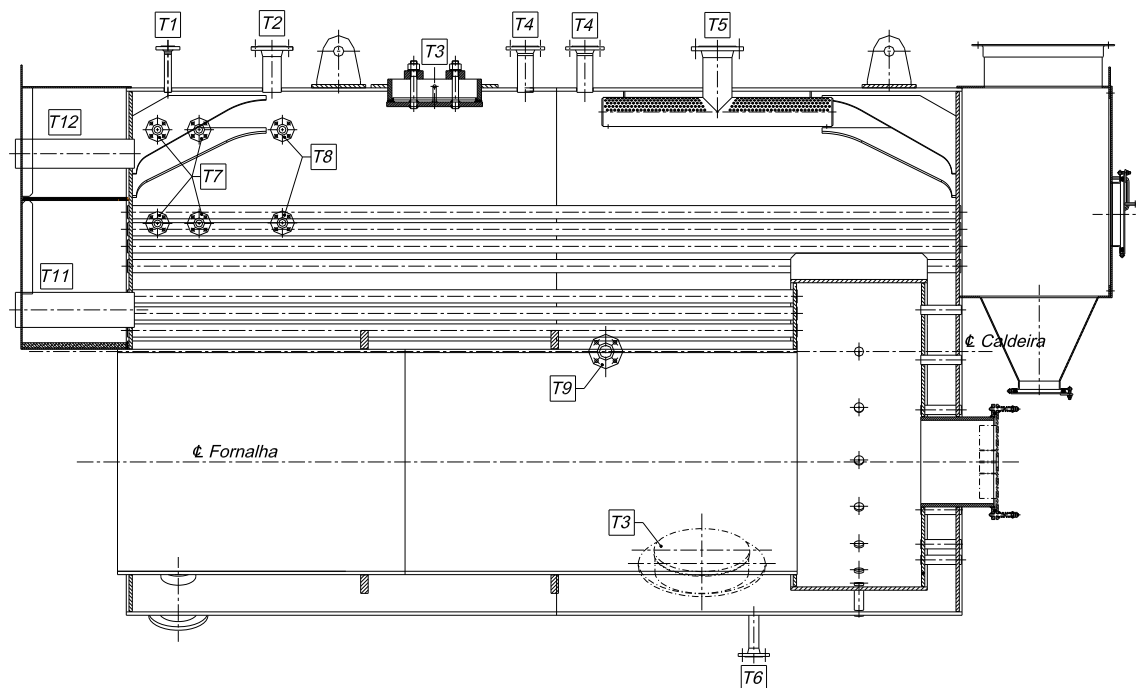


Figura 50 – Equipamento e tubuladuras de uma caldeira.

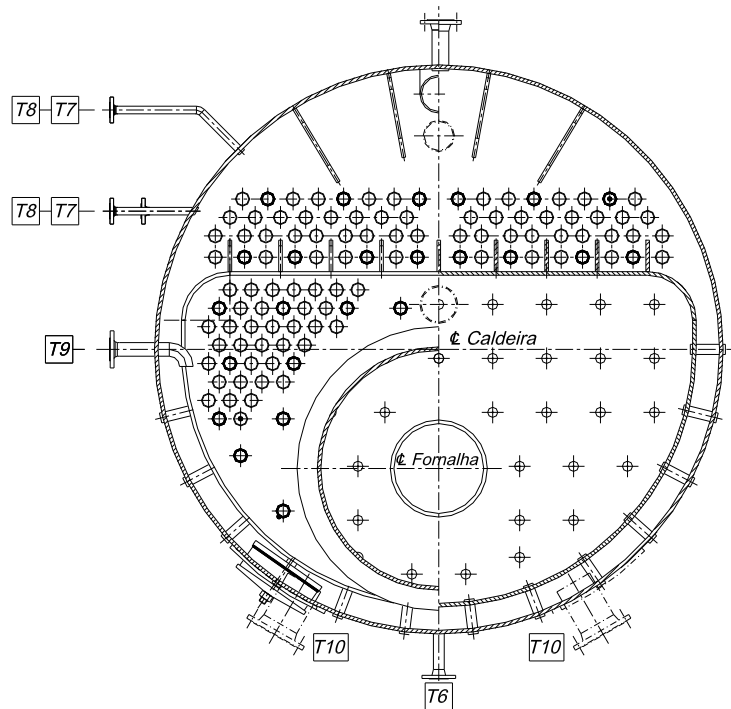


Figura 51 – Equipamento e tubuladuras de uma caldeira.

2.5.4.4.3 Sistema de queima

A queima de p elletes será efetuada numa ante-fornalha de paredes tubulares arrefecidas, de forma paralelep edica, com capela superior e será ligada ao corpo de pressão da caldeira através de 3 coletores (dois de descida de água, inferiores, e um de subida de água/vapor, superior).

2.5.4.4.4 Sistema de queima, regula o de potência da caldeira

Este item foi referido no ponto 2.4.3.9.

2.5.4.4.5 Sistema de alimenta o de  gua

A alimenta o de água   caldeira   garantida através de dois grupos eletrobomba montados em paralelo (um em serviço e um de reserva), cujas características individuais são, ver figuras 52 e 53:

- Marca Grundfos
- Tipo Centrífuga, multicelular
- Modelo CR 5 - 29
- Temperatura máxima 120  C
- Motor de acionamento 4 kW – 2900 rpm

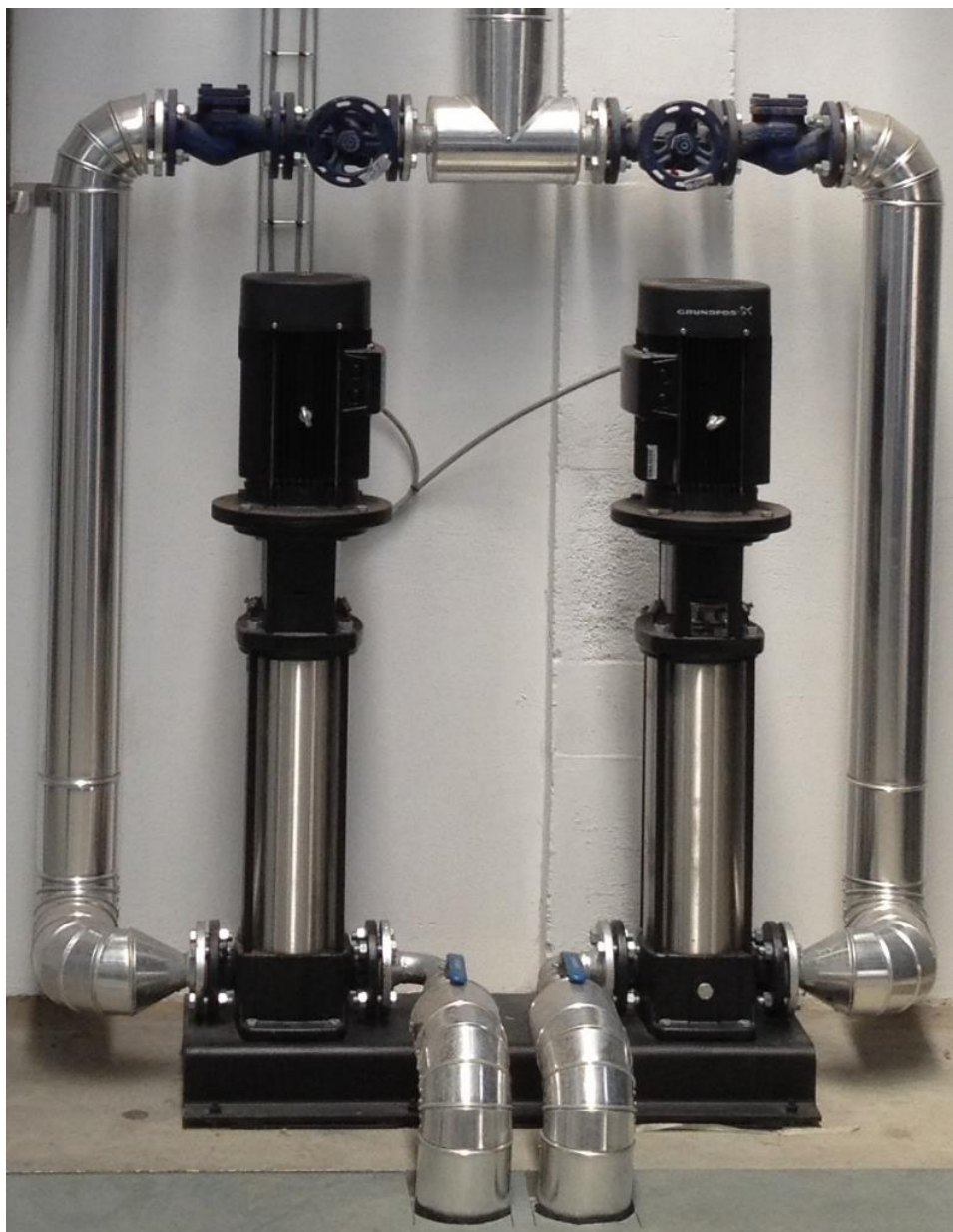


Figura 52 – Eletrobombas (T9), ver figura 50.

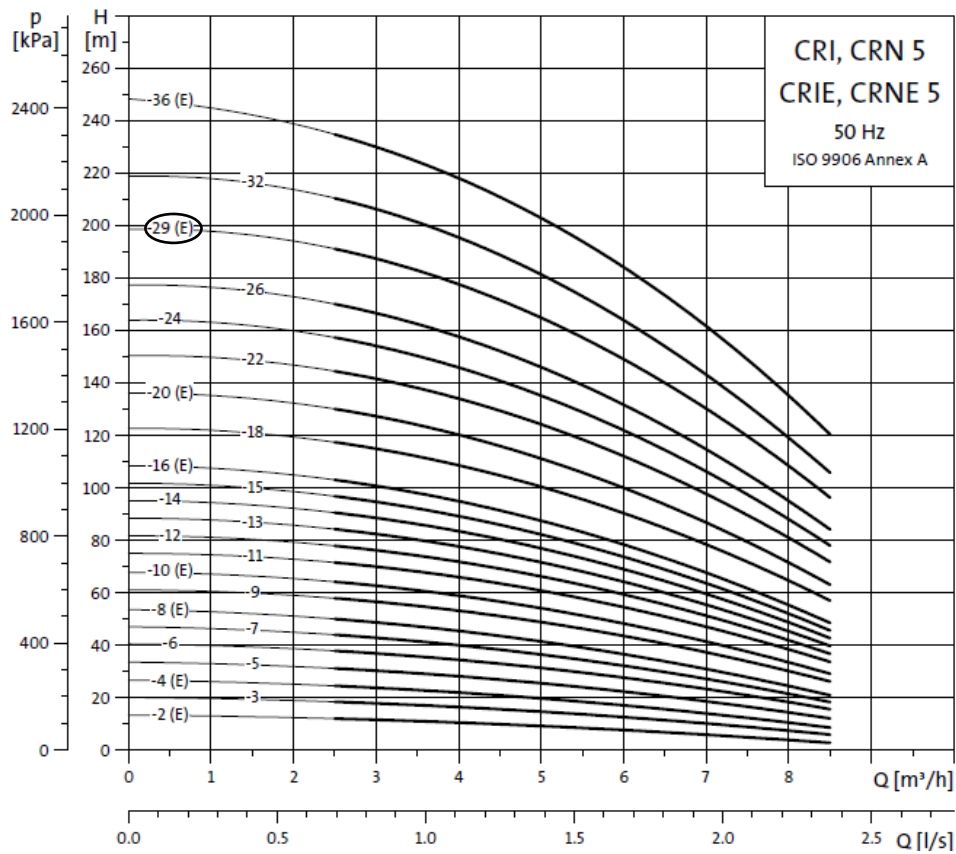


Figura 53 – Curva característica da bomba.

2.5.4.4.6 Regulação do nível da água

O sistema de regulação do nível de água no gerador de vapor é realizado por variador de frequência. O controlo é efetuado por controlador de nível capacitivo, ver figura 54, que comanda o motor de acionamento da bomba de água de alimentação em serviço e nível mínimo de funcionamento.



Figura 54 – Controlador de nível (T8), ver figura 50.

Para segurança complementar de nível, a caldeira está também equipada com um segundo sistema de segurança por nível de água muito baixo, por eletrodos indutivos, ver figura 55.



Figura 55 – Eléctrodo de nível de segurança (T2), ver figura 50.

O sistema de controlo de nível compreende ainda dois indicadores de nível poliprismáticos, completos (com válvulas de seccionamento de água, de vapor e válvula de purga) montados no corpo de pressão, ver figura 56.



Figura 56 – Indicador de nível (T7), ver figura 50.

2.5.4.4.7 Controlo de pressão de vapor

A regulação da pressão de serviço da caldeira é efetuada por dois pressostatos, que comandam o queimador, ver figura 57.



Figura 57 – Pressostatos (T1), ver figura 50.

O sistema de controlo de pressão de vapor compreende ainda:

- Uma sonda de pressão que controlará a carga do queimador, ver figura 58.



Figura 58 – Sonda de pressão, válvula de cunha (purga) (T1), ver figura 50.

- Um manómetro de 0 a 16 bar (rel.), com sifão e válvula para manómetro padrão, ver figura 59.



Figura 59 – Manómetro, torneira, sifão, válvula de cunha (T1), ver figura 50.

- Duas válvulas de segurança de mola com as seguintes características, ver figura 60:

- Marca VYC
- Modelo 496 AP
- Dimensão DN65 x 100
- Pressão Nominal PN16
- Pressão de abertura 1x11,8 e 1x12 bar (rel.)



Figura 60 – Válvulas de segurança (T4), ver figura 50.

2.5.4.4.8 Sistema de inspeção e limpeza

Para efetuar a inspeção o corpo de pressão possui dois acessos ao interior:

- Duas portas de entrada de homem, oval c/ 310 x 410 mm, uma situada na periferia superior da virola exterior e outra na parte inferior, ver figuras 47 e 61.



Figura 61 – Porta de homem (T3), ver figura 50.

- Um visor de chama, localizado na traseira do GV, na porta de explosão, montado no alinhamento da linha de eixo da fornalha.

Limpeza:

- A limpeza do interior do corpo de pressão poderá ser efetuada pelas aberturas referidas entradas de homem.
- A limpeza ao circuito de fumos pode ser efetuada pela abertura da porta de explosão, pela abertura de montagem do queimador (desmontando este) e pelas portas das caixas de fumos (exteriores) da frente e de trás.

2.5.4.5 Válvularia e instrumentos:

Em complemento dos equipamentos atrás referidos, a caldeira, é ainda equipada com:

- Uma válvula de purga de fundo DN40 PN16.
- Uma válvula de saída de vapor principal, DN125 PN16, ver figura 62.



Figura 62 – Válvula de globo (vapor) (T5), ver figura 50.

- Uma válvula de vapor auxiliar, \varnothing 3/4”.

2.5.4.6 Especificações da qualidade da água de alimentação

Este item foi referido no ponto 2.8.

2.5.4.7 Segurança

2.5.4.7.1 Parâmetros de segurança

Parâmetros de regulação, para além dos quais o gerador de vapor, não poderá funcionar, devendo entrar em segurança por corte da energia de aquecimento, (paragem do sistema de alimentação de péletes):

- Nível muito baixo da água no gerador de vapor.

- A pressão máxima de vapor deverá ser inferior à pressão da regulação da válvula de segurança.
- A ante-fornalha é automatizada de forma a não debitar uma potência térmica superior à carga térmica máxima prevista no projeto do GV.
- Regulação das válvulas de segurança, uma será aferida a uma pressão de 11,8 bar (rel.) e outra a 12 bar (rel.).

2.5.4.7.2 Acessórios de segurança

- As válvulas de segurança deverão ser dimensionadas para proteger o ESP, uma válvula deverá ser capaz de evacuar a totalidade do vapor produzido.
- A válvula de segurança deverá ser regulada para pressão próximo da pressão de serviço (10 % a baixo desta, no máximo) para evitar o risco de batimentos (abertura/fecho) do obturador, o que seria muito prejudicial, para a estanquicidade da válvula.
- Se a válvula de segurança disparar, em caso de acidente ou em caso de excesso de produção de vapor em relação ao consumo o fluido a evacuar é vapor vivo.
- Outros dispositivos limitadores dos parâmetros de funcionamento estão instalados conforme indicado, garantindo a segurança do ESP de forma eficaz incluindo a interrupção da queima, a fim de evitar o risco de sobreaquecimento localizado ou generalizado.

2.5.4.7.3 Isolamento térmico

No equipamento sob pressão, todas as partes com temperatura de parede superior a 50 °C serão isoladas termicamente com manta de lã mineral de espessura e massa volúmica apropriadas, com revestimento mecânico exterior de proteção em chapa de alumínio.

2.5.4.7.4 Segurança de pessoas

A instalação dos equipamentos e organização da exploração da instalação garantem elevado nível de segurança do pessoal operador.

São considerados especialmente os pontos seguintes que podem representar riscos diretos:

- Isolamento térmico: garante a redução de perdas de energia térmica e da mesma forma reduz o risco de queimaduras do pessoal operador da central. Se por

qualquer razão de construção ou exploração existirem pontos quentes que não possam ser isolados, serão então montadas grades de proteção ou sinalização apropriadas.

- Projeção de água quente ou vapor: as ligações dos escapes das purgas de ar, de fundo ou outras, assim como a válvula de segurança, são projetadas e instaladas para evitar quaisquer salpicos perigosos para o pessoal operador.

2.5.4.8 Colocação em serviço

Autorização de colocação em serviço:

- O equipamento não poderá ser colocado em funcionamento sem previamente haver sido aprovada a sua instalação e autorização de funcionamento ao abrigo do Decreto-Lei n° 90/2010, de 22 Julho e Instrução Técnica Complementar aprovada pelo Despacho n° 22332/2001 (2ª série) de 30 Outubro [4].

PLANO DE INSPEÇÕES E ENSAIOS DOS ESP

3.1 ENSAIO DE PRESSÃO HIDRÁULICO

3.2 VERIFICAÇÃO E ENSAIO DOS ÓRGÃOS DE SEGURANÇA E
CONTROLO

3.3 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS [36]

3.3.1 ENSAIOS DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS (MAGNETOSCOPIA)

3.3.2 ENSAIO DE ULTRA-SONS

3.3.3 ENSAIO DE RADIOGRAFIA

3.4 APROVAÇÃO E RENOVAÇÃO DE FUNCIONAMENTO DA
INSTALAÇÃO

3.4.1 APROVAÇÃO DA INSTALAÇÃO

3.4.2 RENOVAÇÃO DA AUTORIZAÇÃO DE FUNCIONAMENTO

3.4.3 INSPEÇÃO INTERCALAR

3 PLANO DE INSPEÇÕES E ENSAIOS DOS ESP

O plano de inspeções e ensaios é aprovado e controlado por uma organização independente (OI) acreditada para esse efeito, conforme módulo de avaliação de conformidade exigido pela classe de risco respetivo (Anexo III [1]). Os ensaios e as verificações referidos no Decreto-Lei 90/2010 de 22 de Julho [33] devem ser efetuados de acordo com os respetivos códigos ou normas europeias, com as normas internacionais ou nacionais aplicáveis, identificando-se no relatório de inspeção o respetivo documento normativo aplicado. Em caso de omissão devem ser respeitadas as disposições do presente regulamento e das ITC respetivas.

No âmbito do presente regulamento, consideram-se ensaios e verificações:

- Ensaio de pressão: deve ser hidráulico e efetuado de acordo com o indicado no código e norma de construção, devendo o valor da pressão ser igual a 1,3 vezes a PS, salvo indicação em contrário previsto no código, na norma ou na ITC aplicável. Deve ser realizado com o ESP sem qualquer revestimento. A pressão hidráulica será verificada com um manómetro de classe adequada e manter-se-á pelo tempo necessário, que nunca deverá ser inferior a trinta minutos, para se verificar se o ESP permanece estanque e não apresenta fugas ou deformações permanentes.
- Ensaio de estanquidade: destina-se a verificar a existência de fugas nas ligações nos órgãos de acesso ao interior do ESP e nas válvulas. O Ensaio é efetuado a uma pressão compreendida entre a pressão máxima de funcionamento e a PS, podendo ser usado o fluido contido no ESP, salvo disposição em contrário prevista na ITC respetiva.
- Verificação e o ensaio dos órgãos de segurança e controlo: faz-se tendo em conta a sua importância, fiabilidade e eficácia, não só do ESP, mas do processo em que está inserido. Destina-se também para evitar que atingidos os estados de limite de utilização para que o ESP foi concebido, sendo a pressão muitas vezes um desses limites.
- Os ensaios não destrutivos: aplicam-se na deteção de defeitos e na caracterização dos materiais, sendo somente válidos se efetuados por entidades acreditadas pelo IPAC, destacando-se, nomeadamente, as seguintes técnicas:

- Os ultra-sons.
- As partículas magnéticas.
- Os líquidos penetrantes.
- Os campos elétricos.
- A radiografia.
- A emissão acústica.

A empresa acreditada escolhida pela NORBIDEL para efetuar os ensaios é a BUREAU VERITAS RINAVE, que definiu que efetuará os seguintes ensaios e verificações aos seguintes ESP:

- Caldeira:
 - Ensaio de pressão: hidráulico.
 - Ensaio de estanquidade.
 - Verificação e o ensaio dos órgãos de segurança e controlo (feita durante a inspeção da instalação).
 - Os ultra-sons: às soldaduras longitudinais e circunferenciais das virolas.
 - As partículas magnéticas.
- Ante-fornalha:
 - Ensaio de pressão: hidráulico.
 - Ensaio de estanquidade.
 - As partículas magnéticas.
 - A radiografia.
- Economizador:
 - Ensaio de pressão: hidráulico.
 - Ensaio de estanquidade.
 - A radiografia.

3.1 Ensaio de pressão hidráulico

Este ensaio é aplicado em equipamentos sujeitos a pressão para verificar se existem fugas ou ruturas do material. São realizados com o equipamento fora de serviço e são pressurizados com água a pressões superiores às pressões operacionais ou de projeto,

simulando-se assim uma situação mais rigorosa para garantir que em serviço normal não vão ocorrer falhas nem fugas.

Essa pressão usada no ensaio deve ser igual à mais elevada das pressões [1]:

$$\bullet \quad P' = 1,43 \times P \quad (4)$$

$$\bullet \quad P' = 1,25 \times P \times \frac{\sigma_{0,2(20^{\circ}\text{C})}}{\sigma_{0,2(210,7^{\circ}\text{C})}} \quad (5)$$

O ensaio consiste:

- Encher o ESP de água, com a ajuda de uma bomba, fazendo a elevação da pressão a taxa não superior a 2 bar (rel.) /minuto até atingir a pressão de ensaio, sendo esta verificada por manómetro aferido. Esta pressão deve ser mantida durante o tempo necessário, sendo porém no mínimo de trinta minutos.
- Durante o tempo de estágio, faz-se o ensaio de estanquicidade, que consiste numa verificação visual, ou seja, ver se existe alguma fuga de água no ESP ou descida de pressão no manómetro.
- Verificação da existência de alguma deformação estrutural.
- Verificação visual das soldaduras.
- Faz-se o rastreamento do material usado na construção do ESP.
- Finalizado a meia hora, faz-se a descida de pressão, à mesma taxa de enchimento, até ficar a zero.
- Faz-se também medições ao ESP antes, durante e depois do ensaio hidráulico.

Após a realização do ensaio são emitidos relatórios, ver no anexo B, que atestam a conformidade do ESP.

3.2 Verificação e ensaio dos órgãos de segurança e controlo

Na inspeção à caldeira na instalação [4], em simultâneo com a prova de pressão procede-se:

- À inspeção visual ao corpo sob pressão e acessórios, podendo ser solicitada a remoção do revestimento.

- O circuito de gases deve estar limpo e as respectivas portas ou tampas de visitas abertas. Sempre que necessário, e que seja possível, será efetuada uma visita pelo lado da água.
- As válvulas de segurança devem ser ensaiadas, assim como deve ser verificado o prazo de validade da verificação do manómetro.

3.3 Ensaio não destrutivos [36]

São utilizados para determinar características, propriedades (ensaio físico-químico), dimensões (ensaio metrológico) ou comportamento de peças ou equipamentos (ensaio funcional). Neste tipo de ensaio após inspeção, as peças permanecem intactas, não sendo, portanto, destruídas. Podem ser classificados em função da aplicação, deteção de defeitos, caracterização de materiais e metrologia onde fazem a verificação das dimensões.

Têm como vantagens:

- Permitem praticar a inspeção a 100 %.
- Fornecem resultados relativamente a todo o volume de uma peça.
- Contribuem para melhorar o projeto de uma peça.
- Previnem a ocorrência de falhas em serviço.
- Permitem a deteção e caracterização de defeitos.
- Permitem fazer caracterização de materiais.
- Permitem fazer a sua caracterização metrológica por verificação das dimensões.

3.3.1 Ensaio de partículas magnéticas (magnetoscopia)

Este ensaio é utilizado na deteção de descontinuidades superficiais e subsuperficiais (fissuras, porosidades, inclusões, faltas de fusão, etc.) em peças de materiais ferromagnéticos, isto é, peças suscetíveis de serem magnetizadas. Qualquer descontinuidade na peça atrairá partículas magnéticas. A atração será tanto maior quanto maior for o campo de fuga.

O ensaio é constituído por quatro fases:

- Magnetização da peça: os campos magnéticos podem ser criados por corrente elétrica ou íman.

Antes desta fase as peças a serem magnetizadas têm que ser limpas. O processo de limpeza não deve provocar alterações de qualquer espécie nas peças a inspecionar. Os processos de limpeza mais habituais são:

- Limpeza alcalina.
 - Desengorduramento por vapor de solventes.
 - Métodos mecânicos.
- Aplicação de partículas magnéticas: permite a identificação da descontinuidade superficial e subsuperficial. Existem dois métodos que podem utilizar-se durante a aplicação das partículas (método residual e método contínuo). As partículas magnéticas podem ser aplicadas de duas formas (via seca ou via húmida).



Figura 63 – Aplicação de uma tinta contraste / partículas magnéticas nas soldas de um coletor.

O operador primeiro aplica uma tinta contraste branca nas soldaduras a serem inspecionadas. Depois através de um equipamento cria um campo magnético entre a soldadura, aplicando de seguida as partículas magnéticas, ver figura 63. Se houver alguma fissura ou descontinuidade na soldadura, vai deixar de haver campo magnético ficando a soldadura com um risco preto, indicando que as partículas aderiram à soldadura, fornecendo a informação que existem problemas com essa soldadura.

- Inspeção: a inspeção pode dividir-se em três etapas. Estas são a formação da indicação na peça, interpretação dessa indicação e avaliação da mesma.
- Desmagnetização: certas peças necessitam de ser desmagnetizadas, o que pode ser realizado com corrente alternada ou contínua.

Durante a realização do ensaio, deve ter-se presente o documento de registo de controlo por magnetoscopia, exemplificado no anexo B.

Tem como vantagens:

- Simplicidade de aplicação.
- Detecção de descontinuidades pouco abaixo da superfície da peça.
- Detecção de descontinuidade na superfície da peça.
- Aplicação do ensaio em peças de geometrias complexas.

Tem como desvantagem:

- Apenas pode ser aplicada a materiais ferromagnéticos.
- Em certas condições, pode ser necessário uma operação de desmagnetização.

Este ensaio é especialmente recomendado na deteção de falta de penetração de chanfros em V e na deteção de fissuras superficiais. Podemos visualizar na figura 64 um equipamento usado no ensaio de magnetoscopia.



Figura 64 – Equipamento de magnetoscopia.

3.3.2 Ensaio de ultra-sons

A utilização dos ultra-sons, como método de ensaio não destrutivo, baseia-se na transmissão de ondas sonoras de elevada frequência no material da peça a ensaiar. Essas ondas refletem-se ao incidirem numa superfície de separação de dois meios com características acústicas diferentes (interface), como por exemplo, a superfície de uma descontinuidade. As reflexões, quando recebidas, permitem detetar e localizar, na peça, os locais refletores, através do conhecimento do tempo de percurso, velocidade de propagação do som e ângulo de emissão.

O objetivo da inspeção por ultra-sons é assegurar a fiabilidade dos produtos:

- Detetando defeitos em todo o volume.
- Identificando a natureza dos defeitos.
- Distinguindo materiais aceitáveis e não aceitáveis, de acordo com critérios estabelecidos.
- Medindo espessuras.

Existem vários tipos de ondas:

- Ondas longitudinais, ver figura 65: a direção de vibração das partículas é paralela à direção de propagação das ondas. Permitem obter melhor penetração, menor atenuação e maior velocidade de propagação. Esta característica torna possível a medição de espessuras, bem como a deteção de defeitos do tipo de folheamento. Estas propagam-se em sólidos, líquidos e gases.

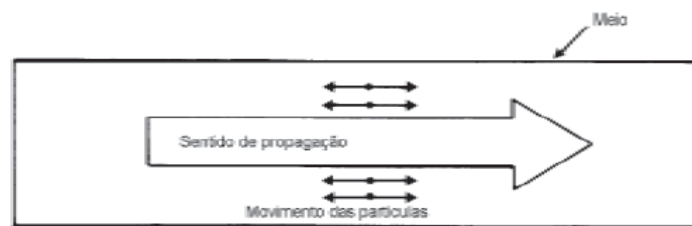


Figura 65 – Ondas longitudinais.

- Ondas transversais, ver figura 66: a direção de vibração das partículas é perpendicular à direção de propagação. A velocidade das ondas transversais é aproximadamente metade da das ondas longitudinais. Por essa razão, o comprimento de onda das ondas transversais é, para a mesma frequência, menor do que a das ondas longitudinais. Estas ondas não se propagam em líquidos e gases. São utilizadas para a deteção de refletos que não estejam orientados paralelamente à superfície percorrida pela sonda, o que as torna particularmente indicadas para a inspeção de soldaduras.



Figura 66 – Ondas transversais.

- Ondas Rayleigh, ver figura 67: propagam-se à superfície e as partículas são animadas de um movimento elíptico. Estas ondas não se propagam em peças mergulhadas num líquido, a menos que a camada do líquido, que cobre a peça, seja muito fina. Apresentam ainda a particularidade de contornarem as diferenças de geometria das peças, sendo, por isso, utilizadas com frequência na inspeção, quando a geometria é complexa e o objetivo é a deteção de discontinuidades superficiais e subsuperficiais até à profundidade máxima correspondente a metade de um comprimento de onda.

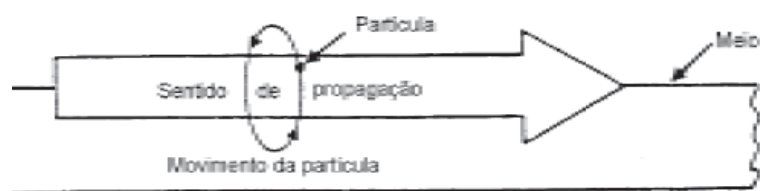


Figura 67 – Ondas de Rayleigh.

- Ondas Lamb ou placa, ver figura 68: propagam-se em chapas finas com vários modos de vibração, em função da espessura da chapa, frequência da sonda e propriedades elásticas. As ondas de Lamb são geradas por ondas longitudinais e poderão ser simétricas ou assimétricas. Por essa razão, as ondas Lamb podem ser úteis visto que podem inspecionar uma grande área com rapidez e eficiência.

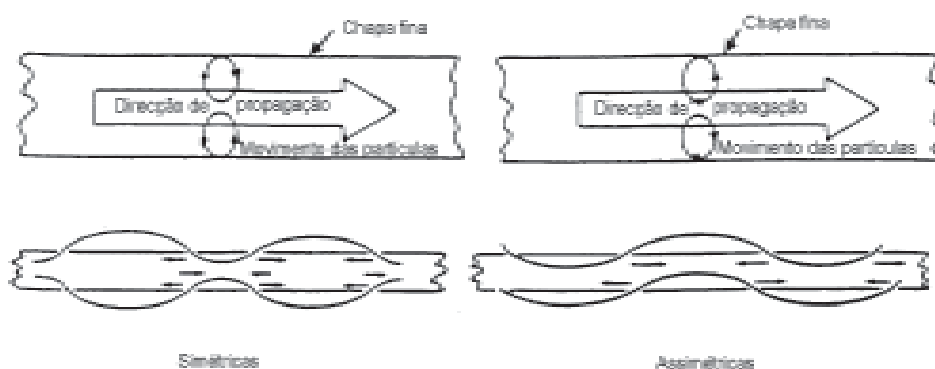


Figura 68 – Ondas de Lamb.

O equipamento deste ensaio gera impulsos elétricos de grande voltagem e curta duração, sendo constituído pelos seguintes circuitos:

- Gerador de impulsos: produz impulsos elétricos, a intervalos regulares, que vão excitar tanto o transmissor como a base de tempos.
- Transmissor: envia impulsos de grande voltagem e de curta duração ao cristal de sonda.
- Base de tempos: põe em tensão o tubo de raios catódicos, dando origem, no visor (osciloscópio), ao eco inicial e à linha de base de tempos.
- Recetor: amplifica, filtra e retifica os impulsos elétricos gerados ao cristal e envia-os para o tubo de raios catódicos.
- Tubo de raios catódicos: é constituído por um canhão que produz um fluxo de eletrões, por um tubo que foca e acelera esses eletrões, duas placas horizontais e duas verticais, que vão, respetivamente, deflectir o fluxo eletrónico vertical e horizontalmente, por forma a localizá-lo numa determinada zona do visor fluorescente, que se torna luminoso, quando bombardeado pelos eletrões.

Os sistemas de inspeção por ultra-sons são, essencialmente, de dois tipos:

- Sistema de eco pulsado: é o mais frequentemente utilizado. Uma sonda emite ondas, durante um curto espaço de tempo, que são transmitidas à peça em inspeção. As ondas são refletidas ou por descontinuidades ou por superfícies da peça. A mesma sonda funciona como emissor e recetor. As reflexões recebidas, também chamadas de eco, são visualizadas no visor (tubo de raios catódicos). Existem duas grandes vantagens neste sistema:
 - Acesso, unicamente, por um dos lados da peça.
 - Localização precisa dos refletores.
- Sistema por transparência: são necessárias duas sondas, uma funciona como emissor e a outra como recetor. Este sistema não permite localizar descontinuidades, embora se possa detetar a sua presença pela diminuição de quantidade de energia sonora recebida. Existem duas grandes vantagens neste sistema:
 - Detecção de defeitos próximos da superfície: defeitos de alguns décimos de milímetro, junto da superfície, podem ser detetados.
 - Inspeção de grandes espessuras.

No controlo por ultra-sons, a condição de superfície tem bastante influência, manifestando-se esta por uma perda de sensibilidade; por queda da altura dos ecos e por diminuição de resolução, devido à tendência de alargamento do eco da sonda.

Uma superfície irregular provoca desgaste prematuro da sonda, sendo, portanto, importante a regularização da superfície de assentamento da sonda.

É igualmente importante retirar a sujidade da superfície, já que faz variar a espessura de camada do acoplante ou mesmo provocar uma camada de ar, que não permite a transmissão de som. Camadas de óxido ou de tinta, quando não aderentes, são bastantes prejudiciais por estarem associadas a bolsas de ar, evitando, assim, a propagação do som.

Podemos visualizar nas figuras 69 e 70 diversos equipamentos usados no ensaio de ultra-sons.



Figura 69 – Equipamento de representação digital e aparelhos A-SCAN.



Figura 70 – Sistemas C-SCAN e P-SCAN.

Principais vantagens deste ensaio:

- Elevado poder de penetração que permite a deteção de descontinuidades existentes no interior das peças, numa vasta gama de espessuras e materiais.
- Sensibilidade elevada na deteção de descontinuidades muito pequenas.
- Precisão na determinação da localização, dimensão e forma das descontinuidades.

- Não exige mais do que uma superfície acessível, embora seja recomendável a sondagem, a partir de diversas superfícies.
- Aplicável em inspeções de manutenção.
- Equipamento normalmente portátil.

Principais desvantagens deste ensaio:

- Exige operadores muito experientes.
- Difícil de aplicar a peças de geometria complexa e/ou de espessuras muito pequenas.
- Dificuldade de aplicação em materiais de grande atenuação acústica. Atenuação acústica é a capacidade que os materiais têm de atenuar as ondas sonoras e ultrasônicas.
- Apresenta, por vezes, dificuldades na interpretação de defeitos superficiais cuja distinção de refletores atribuídos à geometria é difícil;
- Exige a utilização de acoplantes.

Durante a realização do ensaio, deve ter-se presente o documento de registo denominado relatório de controlo por ultra-sons, exemplificado no anexo B.

3.3.3 Ensaio de radiografia

A radiografia é um método de ensaio não destrutivo baseado na absorção desigual das radiações ionizantes, que podem ser X ou gama.

As radiações ao atravessarem uma dada espessura de material sofrem maior absorção do que ao atravessarem uma menor espessura do mesmo material. Logo, a intensidade da radiação emergente varia em função da espessura atravessada. O registo destas variações de intensidade, feito habitualmente em filme, ver figura 71, fornece um meio de inspeção interna da matéria e das suas discontinuidades. A imagem latente, produzida no filme, fornece, após processamento uma imagem em negativo. As espessuras menores e as de material menos denso originam zonas mais escuras, ver figura 72. Este é um dos métodos de maior aplicação porque, para além de dar origem a informações claras, estas podem ainda ser facilmente arquivadas.

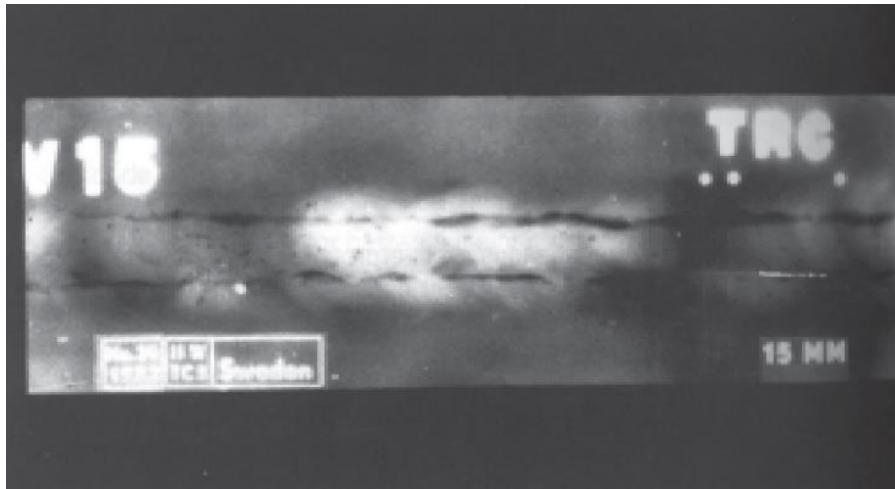


Figura 71 – Imagem de filme com porosidade e bordos queimados.

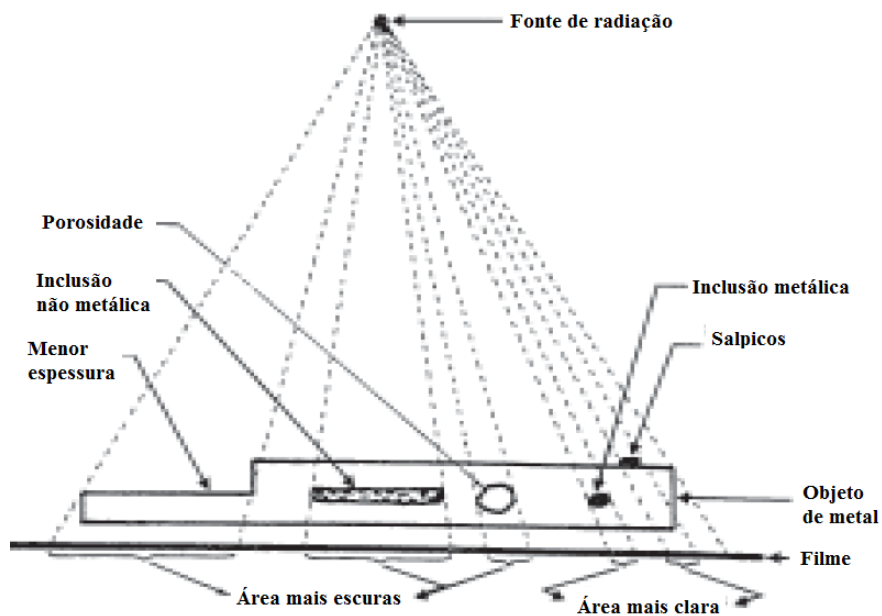


Figura 72 – Impressão da imagem num filme.

Os raios X são produzidos quando elétrons, fortemente acelerados, chocam com um alvo de metal pesado (cobre, tungstênio). Os isótopos são as fontes dos raios gama.

O equipamento de raios X é constituído por uma fonte de elétrons, um dispositivo para acelerar os elétrons e um alvo que receba o impacto dos elétrons. As duas primeiras condições são satisfeitas pelo tubo de raio X, enquanto a segunda é satisfeita pela fonte de alta tensão, a qual é aplicada entre o ânodo (carga positiva) e o cátodo (carga negativa).

Podemos visualizar na figura 73 um equipamento usado no ensaio de raio X.



Figura 73 – Equipamento de raio X.

Os isótopos são as fontes dos raios gama (γ). A radioatividade emitida por estes elementos não é constante, diminuindo com o tempo. A forma mais usual de expressar a velocidade de desintegração radioativa é considerar a "meia vida", entendendo-se, como tal, o tempo necessário para que qualquer número de átomos radioativos, inicialmente presentes, se reduza a metade, ou seja, que a atividade se reduza a metade do valor inicial. Podemos visualizar na figura 74 um equipamento usado no ensaio de raios gama.

Existem algumas dezenas de isótopos radioativos, no entanto, na radiografia, utilizam-se, normalmente, e apenas, o cobalto 60, céσιο 137, o irídio 192 e o túlio 170.

Apesar de ter uma meia vida curta (74 dias), o irídio 192 é dos mais utilizados, pois consegue concentrar num pequeno volume, uma grande atividade radioativa, o que implica uma boa definição da imagem radiográfica, mesmo para pequena distância fonte/filme e tempos de exposição curtos.



Figura 74 – Equipamento de raios gama.

A radiografia é uma imagem que deve estar bem definida e nítida e que depende de diversos fatores:

- Dispersão: afeta desfavoravelmente tanto o contraste, como a definição radiográfica. Podem-se considerar os seguintes tipos de dispersão:
 - Interna: a qual tem origem no interior do objeto.
 - Lateral: é originada por paredes ou quaisquer outros objetos próximos, que estejam no trajeto do raio primário.
 - Posterior: é originada por qualquer material que esteja localizado no lado posterior do filme.
- Penumbra: são indefinições de imagem, criadas pela falta de nitidez que resulta da dimensão da fonte radiográfica. Esta não pode ser eliminada, mas pode ser reduzida aumentando-se a distância entre a fonte e o objeto. Outra técnica muito importante para reduzir a penumbra consiste na redução, tanto quanto possível, da distância do filme ao objeto, ver figura 75.

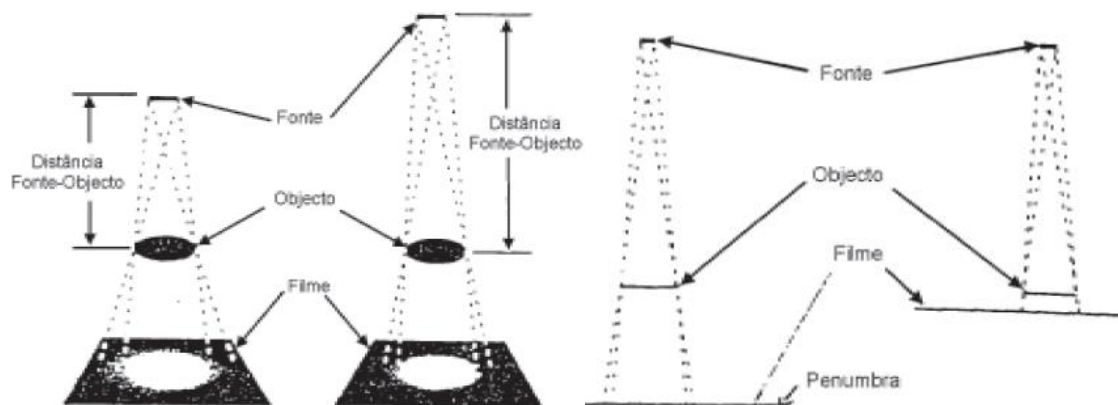


Figura 75 – Redução da penumbra por variação das distâncias.

- Distância fonte-objeto.
- Distância filme-objeto.
- Perpendicularidade: sempre que possível os raios provenientes da fonte devem ser dirigidos perpendicularmente ao filme, para evitar a distorção da imagem, ver figura 76.

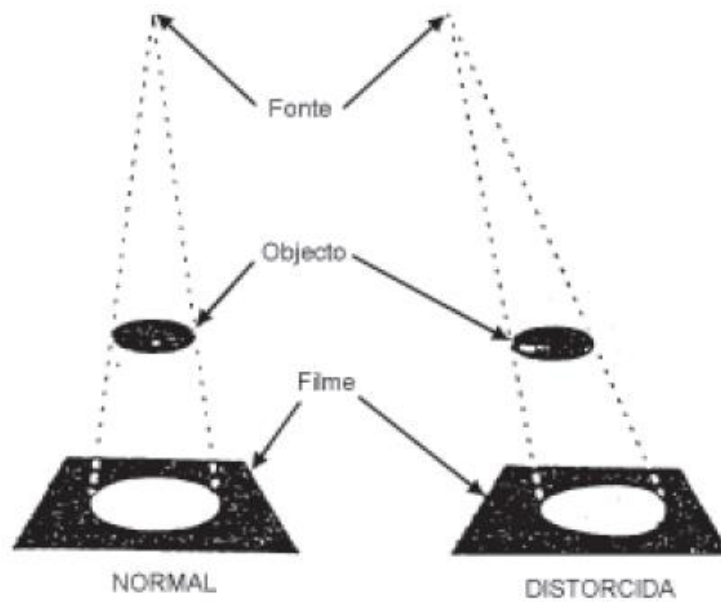


Figura 76 – Perpendicularidade da fonte de radiação em relação ao filme.

- Sombra.
- Granulometria: afeta igualmente a definição radiográfica. Enquanto um filme de grão grosso é usado para reduzir o tempo de exposição, o filme de grão fino proporciona melhor definição

Como as radiações ionizantes são perigosas para os seres vivos, é necessário seguir certas normas de segurança e detetores para medir as radiações, pois estas são impercetíveis sensorialmente.

Existem três meios básicos de controlar a radiação:

- Tempo: consiste no controlar do tempo em que a pessoa está exposta à radiação.
- Distância: que consiste em controlar a distância entre a pessoa e a fonte.
- Barreira: que consiste em colocar materiais absorventes da radiação entre a pessoa e a fonte.

Durante a realização do ensaio, deve ter-se presente o documento de registo denominado relatório de controlo radiográfico, exemplificado no anexo B.

3.4 Aprovação e renovação de funcionamento da instalação

3.4.1 Aprovação da instalação

Nos termos do Decreto-Lei nº 97/2000, de 25 de Maio, a aprovação da instalação [4] depende de uma inspeção técnica e de uma prova de pressão, ambas a efetuar por um

organismo de inspeção, e, eventualmente, de uma vistoria a realizar pela DRE territorialmente competente.

3.4.2 Renovação da autorização de funcionamento

A renovação da autorização de funcionamento [4] deve ser feita de cinco em cinco anos e depende de uma inspeção técnica e de uma prova de pressão, sem prejuízo de eventual vistoria a efetuar pela DRE.

3.4.3 Inspeção intercalar

O equipamento deve ser submetido a uma inspeção técnica [4], de dois anos e meio em dois anos e meio, podendo este prazo ser encurtado nos casos que se verifiquem situações anormais que ponham em risco a segurança do equipamento.

As inspeções intercalares [4] têm por fim verificar as condições de segurança dos geradores, devendo ser elaborado um relatório conclusivo onde constem os seguintes pontos:

- Estado dos limitadores.
- Estado dos órgãos de controlo e válvulas de segurança.
- Controlo de espessuras.
- Verificação e análise de estados de degradação.
- Verificação das sequências de acendimento.

O organismo de inspeção deve enviar à DRE o respetivo relatório para verificação e arquivo, podendo propor medidas corretivas ou limitadoras da utilização.

TRATAMENTO DOS GASES DE SAÍDA

- 4.1 CÂMARAS DE SEDIMENTAÇÃO GRAVÍTICA
- 4.2 COLETORES GRAVÍTICOS (CICLONE)
 - 4.2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS CICLONES
 - 4.2.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS
- 4.3 PRECIPITADORES ELECTROESTÁTICOS
 - 4.3.1 VANTAGENS E DESVANTAGENS
- 4.4 FILTRO DE MANGA
 - 4.4.1 VANTAGENS E DESVANTAGENS
- 4.5 COLETORES HÚMIDOS
- 4.6 COMPARAÇÃO ENTRE SEPARADORES DE GASES

4 TRATAMENTO DOS GASES DE SAÍDA

No âmbito da despoluição do ar surgiram diversos métodos e equipamentos com o fim de retirar dos fumos as partículas poluentes antes que estas sejam libertadas para o meio ambiente. Na escolha do equipamento certo é importante um estudo das partículas contaminantes a separar segundo a sua forma, densidade, aderência e higroscopia. Necessário será também uma análise das características do escoamento gasoso que funciona como o meio de transporte das partículas. Neste caso o foco está no caudal e na concentração das partículas contaminadas. Logo é importante que o projetista englobe estes fatores na escolha do equipamento e que estabeleça outros fatores que serão importantes de considerar:

- Espaço disponível.
- Eficiência desejada.
- Perda de carga associada.
- Características do escoamento (temperatura, quantidade de partículas etc.).

No que diz respeito aos diversos equipamentos de controlo de emissões existem cinco tipos: câmaras de sedimentação gravítica, ciclones, precipitadores electrostáticos, filtro de mangas, coletores húmidos.

4.1 Câmaras de sedimentação gravítica

As câmaras de sedimentação gravítica [31], ver figuras 77 e 78, são equipamentos de funcionamento simples e de baixo custo. Trata-se de uma câmara cuja secção transversal é superior à da conduta, diminuído assim a velocidade do gás no sentido do escoamento (horizontal). Isso possibilita a sedimentação de partículas de maior dimensão, pela força da gravidade. Observa-se que quando uma partícula entra na câmara a uma certa altura ela vai demorar um determinado tempo t para percorrer a câmara. Caso o tempo de passagem seja maior que o tempo de sedimentação, que depende da altura a que se encontra dentro da câmara e massa da partícula, a partícula assenta no fundo da câmara e pode ser removida. Reconhecendo este processo, é compreensível que quanto maior o comprimento da câmara, maior será o número de partículas que podem ser retiradas do ar. As dificuldades sucedem quando se trata de partículas com dimensão muito reduzida, porque o tempo de sedimentação será

excessivo e uma construção de dimensão muito grande não é praticável. Maioritariamente as câmaras de sedimentação gravítica são utilizadas na indústria como um primeiro passo no tratamento de ar, seguindo outros processos para possibilitar a remoção de partículas com menor dimensão. No que diz respeito a um tratamento de gases de escape de uma caldeira a biomassa, este equipamento não é viável uma vez que só é adequado para a remoção de partículas de tamanho maior e as libertadas na combustão são pequenas demais.

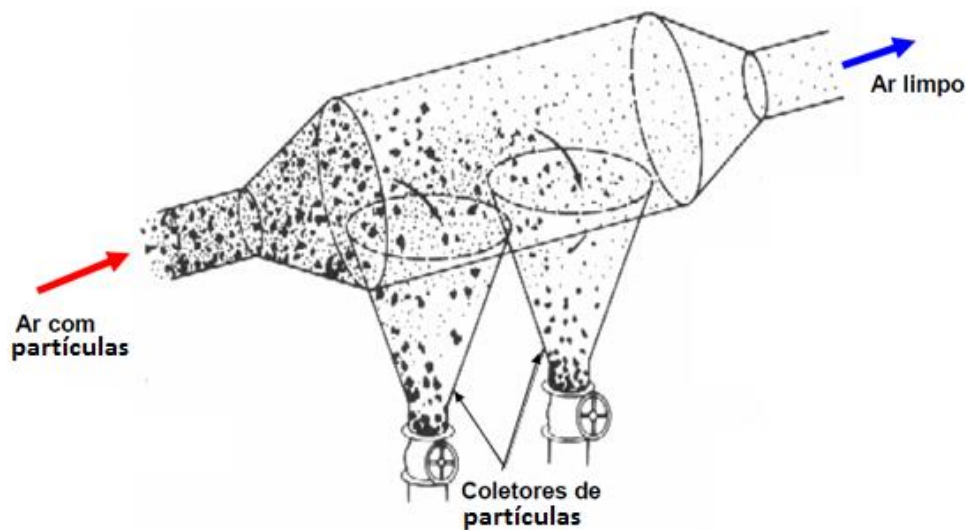


Figura 77 – Câmara de sedimentação gravitacional [21].

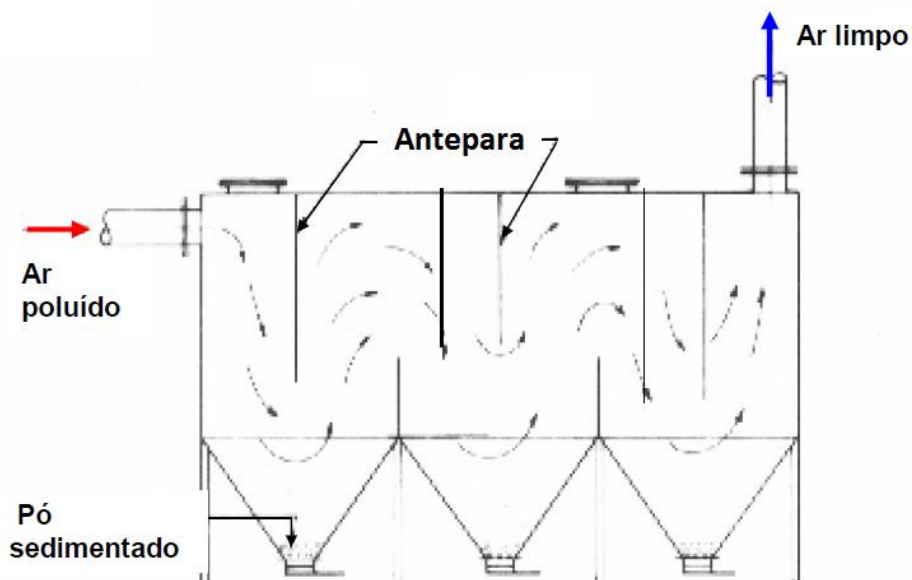


Figura 78 – Câmara de sedimentação gravitacional.

4.2 Coletores gravíticos (ciclone)

Os coletores gravíticos [31], ver figura 79, na indústria têm uso limitado uma vez que a sua capacidade de recolha de partículas de dimensão pequena é diminuta. Por isso foram desenvolvidos equipamentos que, no seu funcionamento, substituem a força gravítica por uma força maior para separar as partículas do gás. A força centrífuga (que por definição não é uma força no próprio sentido mas sim o resultado da inércia de um corpo em movimento e uma outra força que o obriga a movimentar-se num trajeto circular) é aproveitada. No interior do ciclone o gás manifesta-se numa trajetória helicoidal descendente perto das paredes (vórtice exterior) e em seguida numa trajetória helicoidal ascendente no centro do ciclone (vórtice interior). Este tipo de ciclone é ainda designado por ciclone de fluxo invertido porque o sentido de fluxo dos dois vórtices é distinto (mudança de sentido da trajetória no fundo do ciclone) conforme pode ser visto na figura 79.

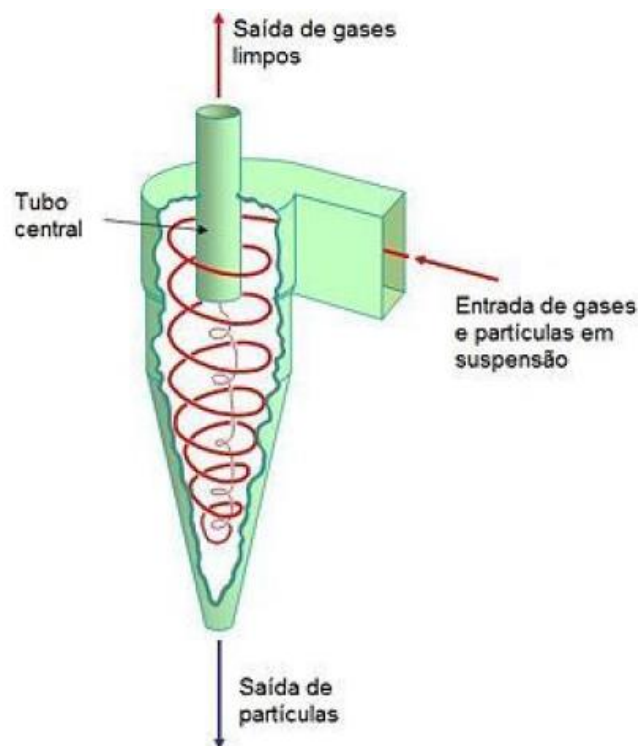


Figura 79 – escoamento gasoso através de um ciclone de entrada tangencial e de fluxo invertido.

As partículas de grande e média dimensão são projetadas contra as paredes do ciclone e assim separadas do gás. As características com maior impacto no seu desempenho são a geometria do ciclone e a velocidade de entrada. Estudos revelaram que com uma dimensão menor a eficiência de separação aumenta e que quanto maior for a velocidade

de entrada maior será a força centrífuga que atua nas partículas trazendo um aumento na eficiência de separação. Porém estas alterações aumentam a perda de carga do ciclone. Um projetista que opte por dimensionar este tipo de equipamento tem de ter em conta estas características e achar um consenso entre um aumento do rendimento, em termos da separação de partículas, e a perda de carga resultante. É comum a aplicação de diversos ciclones em paralelo de menores dimensão em vez de um de tamanho maior. A ideia é reduzir o tamanho dos ciclones, logo aumentar a eficiência, e ao mesmo tempo diminuir o caudal em cada um dos ciclones de forma a obter uma perda de carga menor.

4.2.1 Classificação dos Ciclones

Os ciclones podem ser classificados [32] de diferentes formas: quanto ao tipo de entrada, tipo de fluxo, eficiência e sua associação

4.2.1.1 Tipo de entrada

Quanto ao tipo de entrada [32] podem ser: tangencial, axial, helicoidal e espiral, ver figura 80.

Os ciclones de entrada tangencial impõem uma maior perda de carga relativamente aos de entrada axial, mas são mais eficientes para o mesmo diâmetro. Quanto aos tipos de entrada helicoidal e espiral, são menos utilizados por serem menos eficientes.

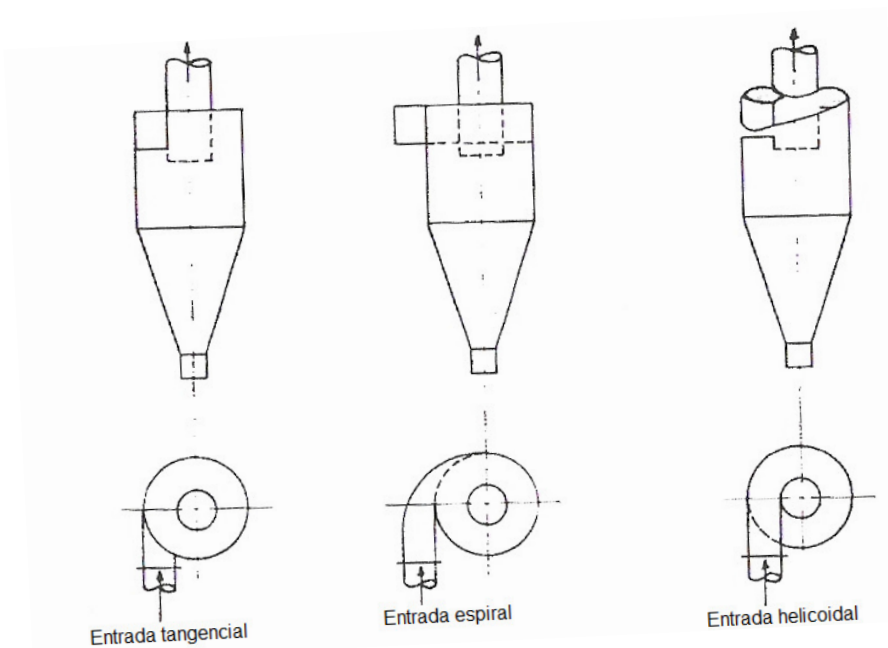


Figura 80 – Classificação dos ciclones quanto ao tipo de entrada.

4.2.1.2 Tipo de fluxo

Quanto ao tipo de fluxo [32] podem ser: invertido ou simples.

No ciclone de fluxo invertido (entrada tangencial ou espiral) o gás entra pelo topo e desce em espiral, invertendo o seu sentido antes de atingir a base. Deste modo, o gás limpo sai de novo pelo topo, enquanto as partículas são recolhidas na base em reservatórios ou tremonhas (espécie de reservatório em forma de pirâmide quadrangular e invertida). Este tipo de ciclone é o mais utilizado na indústria.

No ciclone de fluxo simples (entrada helicoidal) o gás entra pelo topo e tanto o gás limpo como as partículas recolhidas saem pela base.

4.2.1.3 Eficiência

Quanto à eficiência [32] podem ser: de alta eficiência ou simples.

Os ciclones de alta eficiência têm pequenos diâmetros (0,50 m) com cones muito compridos e perdas de carga acentuadas; são utilizados para a coleta de partículas entre 5 a 10 μm . O facto de serem mais pequenos permite que a sua concepção seja mais barata, no entanto os custos operatórios são superiores em termos energéticos, devido ao aumento da perda de carga com a diminuição do diâmetro do ciclone.

Por outro lado, os ciclones simples apresentam grande diâmetro (0,75 m a 1,5 m), apresentando deste modo pequenas perdas de carga, baixa eficiência para pequenas partículas e funcionam com grandes caudais.

4.2.1.4 Associação (Multiciclones)

Quanto à associação [32] pode ser feita: paralelo ou em série.

A associação em paralelo, ver figura 81, utiliza-se para grandes caudais e grandes eficiências, com uma entrada e uma saída. Os multiciclones são um conjunto de ciclones de pequeno diâmetro (entre os 15 e os 25 cm) que funcionam em paralelo e têm uma entrada e uma saída comum. Esta associação permite atingir eficiências de remoção mais elevadas (cerca de 90 % para partículas entre 5 a 10 μm).

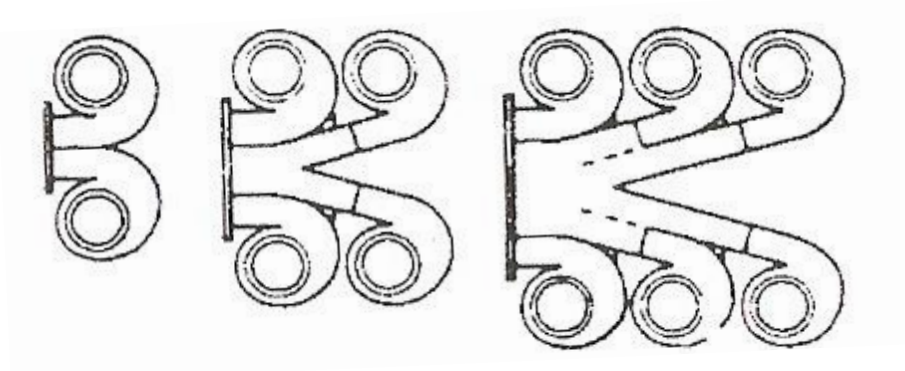


Figura 81 – Associação de ciclones em paralelo (multiciclones).

A associação em série não é tão comum e é utilizada quando se tem partículas grosseiras e finas. Para se removerem as partículas finas, a velocidade de entrada deve ser elevada e deste modo as partículas grosseiras ficam sujeitas a grande aceleração centrífuga, o que faz com que choquem com as paredes do ciclone com grande quantidade de movimento provocando erosão. Para que este problema não se verifique deve construir-se um ciclone a montante com um diâmetro maior, onde apenas são removidas as partículas mais grosseiras, usando-se um ciclone mais eficiente de seguida para remover as partículas mais finas.

4.2.2 Vantagens e Desvantagens

Tem como vantagens:

- Baixo custo de construção.
- Perda de carga baixa a média.
- Projeto relativamente simples.
- Equipamento simples com poucos problemas de manutenção.
- Simples de operar.
- Não tem limitação de temperatura e pressão exceto pelo material de construção.
- Espaço para instalação relativamente pequeno.

Tem como desvantagens:

- Baixa eficiência para partículas pequenas (< 10 micrómetros).
- Possibilidade de entupimento no material adesivo ou higroscópico.
- Pode apresentar problemas de abrasão para determinados tipos de partículas e determinadas velocidades.

- Não pode ser utilizado para partículas com características adesivas.

4.3 Precipitadores Electroestáticos

Os precipitadores eletrostáticos [32] são equipamentos industriais, utilizados na colheita de material sob a forma de partículas. Carregam electrostaticamente as partículas e depois captam-nas por atração ou repulsão eletromagnética.

Este equipamento remove até 99,5 % da massa total das partículas. O precipitador cria um campo eletrostático que carrega as partículas que estão presentes nos gases, as quais são posteriormente repelidas ou atraídas por placas eletrizadas, ficando presas a elas.

Os precipitadores eletrostáticos fazem com que os gases provenientes do processo entrem no precipitador trazendo consigo partículas suspensas, as quais passam pelos elétrodos de descarga de alta tensão. Os elétrodos ionizam os gases com carga negativa.

De seguida, os gases carregados negativamente em volta de cada elétrodo atuam sobre as partículas, tornando-as também negativas, as quais são atraídas para os elétrodos de polaridade oposta, como por exemplo, as placas coletoras.

As partículas com carga negativa aderem à placa coletora. Os batedores têm a função de descolar o aglomerado de partículas, que caem, para remoção, ver figura 82.

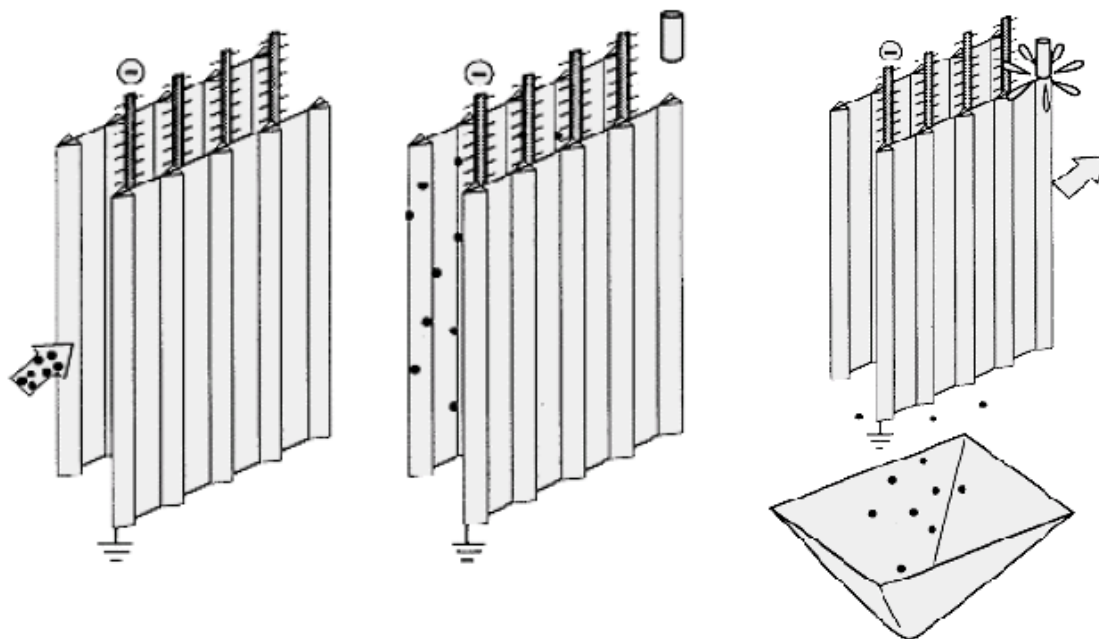


Figura 82 – Carregamento das partículas, adesão das partículas às placas coletoras e batimento das partículas.

4.3.1 Vantagens e Desvantagens

Os precipitadores electrostáticos possuem algumas vantagens tais como:

- Alta eficiência na colheita de partículas.
- Baixa perda de carga.
- Baixo custo operacional.
- Pode remover partículas sólidas e líquidas que são difíceis de remover com outros equipamentos.
- Poucos problemas de manutenção e operação.
- Podem funcionar continuamente por longos períodos e numa faixa ampla de pressões positivas ou negativas.
- Vida útil longa, podendo atingir mais de 20 anos.

Possuem ainda algumas desvantagens, podendo destacar-se o seguinte:

- Alto investimento inicial.
- Requerem um grande espaço para a sua instalação.
- Apresentam riscos de explosão quando processam partículas ou gases inflamáveis ou explosivos.
- Exigem medidas especiais de segurança contra alta tensão.
- Muito sensível a variações de caudal, temperaturas e humidade.
- Exigem pessoal qualificado para a sua manutenção.
- Alguns materiais são de difícil colheita por apresentarem resistividade alta ou baixa.
- Produção de ozono nas descargas elétricas.

4.4 Filtro de Manga

Os filtros de mangas são equipamentos desenvolvidos para a captação, transporte e retenção de partículas. São usados na separação das partículas presentes no fluxo de gases industriais [14].

Um filtro de mangas [32], ver figuras 83 a 85, é constituído por um conjunto de elementos idênticos que funcionam em paralelo: as mangas ou sacos. Uma manga é um saco tubular, que pode possuir ou não um suporte interior em malha metálica, conforme o modo como a corrente gasosa se movimenta: de fora para dentro (filtro em depressão)

ou de dentro para fora (filtros de pressão), retendo as partículas na parte externa ou interna, respetivamente.



Figura 83 – Filtro de mangas [21].

Após algum tempo de funcionamento forma-se um bolo de filtração que provoca o aumento da perda de carga. Após de atingir um valor considerado máximo, o filtro deve ser limpo. Os processos de limpeza incluem o batimento mecânico, o fluxo de ar em sentido inverso através das mangas e a descompactação pneumática, para filtros com fluxo de fora para dentro; os processos mais modernos não necessitam de interromper a filtração para ocorrer a descompactação. Enquanto o filtro é novo, tem dificuldade em reter partículas, e necessita por isso de passar por alguns ciclos de filtração-limpeza, até se tornar um verdadeiro meio filtrante. As dimensões das mangas variam bastante, no máximo possuem 30 cm de diâmetro e 10 m de altura, para os filtros de pressão. Na prática um filtro é constituído por várias mangas, dispostas verticalmente dentro de uma caixa, funcionando em paralelo.

As fibras que compõem as mangas podem ser intercaladas formando tecidos, ou dispostas ao acaso sobre uma matriz ligeira de fibras intercaladas

A principal característica dos filtros de mangas é a sua grande eficiência. As concentrações das partículas à saída são de cerca de 20 a 30 mg/Nm³ (miligrama por metro cúbico em condições normais) em regime normal, respondendo assim às normas

mais severas em vigor. Em regime permanente a eficiência de remoção de partículas de uma manga varia ao longo do ciclo de operação. A penetração de poeira depende diretamente da velocidade superficial sendo relativamente independente das dimensões das partículas na alimentação, decrescendo fortemente após a limpeza, aumentando gradualmente com a espessura do bolo de filtração.

O filtro funciona numa gama de temperaturas relativamente reduzida: o valor máximo é ditado pela natureza das fibras e o valor mínimo pelo problema de colmatação. Deve medir-se o caudal e a perda de carga, vigiando atentamente o seu comportamento.

O filtro deve poder oferecer a possibilidade de substituir as mangas com facilidade. O período de vida das mangas é de cerca de dois anos.

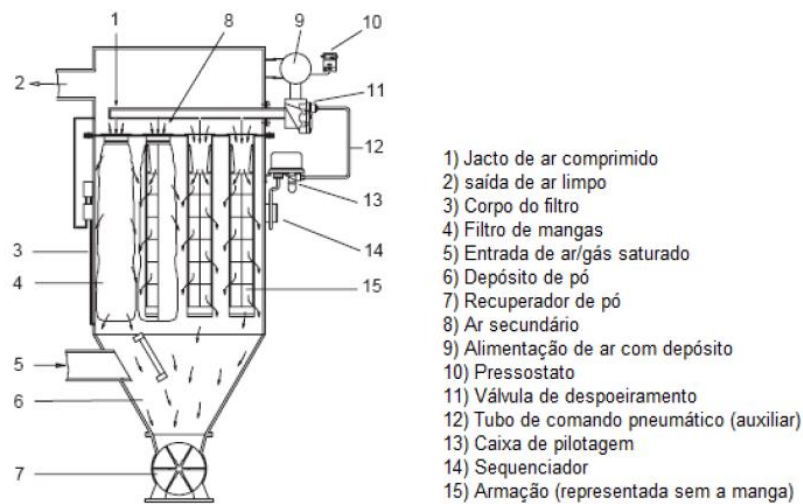


Figura 84 – Representação esquemática de um filtro de mangas [21].

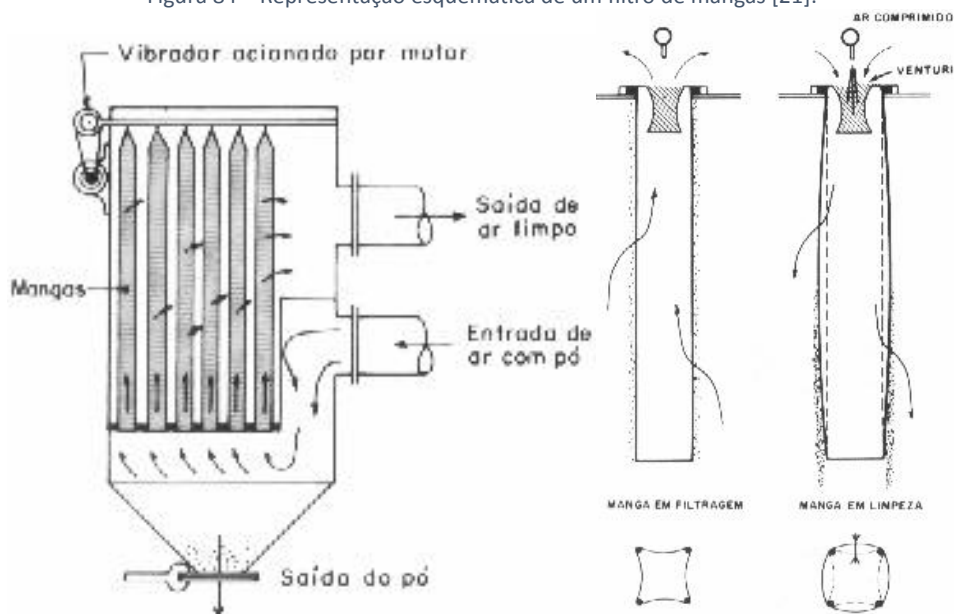


Figura 85 – Representação esquemática de um filtro de mangas [21].

4.4.1 Vantagens e Desvantagens

Tem como vantagens:

- Proporciona altas eficiências de colheita (acima de 99 %).
- Pouco sensível à flutuação de vazão e concentração.
- Colheita a seco possibilitando recuperação de material sem tratamento.
- Não apresenta problemas de resíduos líquidos.
- Corrosão pouco acentuada.
- Manutenção simples.
- Operação relativamente simples.
- Princípio de funcionamento e projeto simples.
- Perda de carga e custo de operação moderados.
- Vida útil longa (10 a 15 anos).

Tem como desvantagens:

- Temperaturas máximas limitadas em função do material das mangas.
- Pode requerer tratamento especial das mangas para determinadas aplicações.
- Custo de manutenção alto (troca de mangas).
- Material higroscópico, adesivos e condensação de humidade podem ocasionar entupimento das mangas.
- Localização de mangas furadas relativamente difícil.
- Requer grande espaço especialmente no caso de limpeza por fluxo reverso e por vibração.

4.5 Coletores Húmidos

Os coletores húmidos [31] têm um funcionamento simples mas eficiente. Quando um gás contaminado entra em contacto com água finamente pulverizada, uma grande parte das partículas vai-se aglomerar na água e dessa forma purificar o gás. Um método utilizado são as torres de lavagem, ver figura 86, em que o ar contaminado entra na base da torre e, enquanto sobe, as partículas entram em contacto com as gotas de água, que são introduzidas por um sistema de chuveiros. Dessa forma o gás que sai do topo da torre tem uma percentagem de partículas contaminantes reduzida.

Outros tipos de coletores húmidos, ver figura 86, são os ciclones por via húmida que consistem no ciclone e na introdução de água por jato a alta pressão na entrada do ciclone. As partículas aglomeradas com a água são projetadas contra as paredes do ciclone e escoam para o fundo do mesmo. Também existem os lavadores com efeito *venturi* em que na entrada do equipamento o ar contaminado entra com alta velocidade (60 - 180 m/s) através de uma conduta de forma *venturi* junto com água, inserida com um pulverizador ou aspensor. A água com as partículas aglomeradas é posteriormente recolhida.

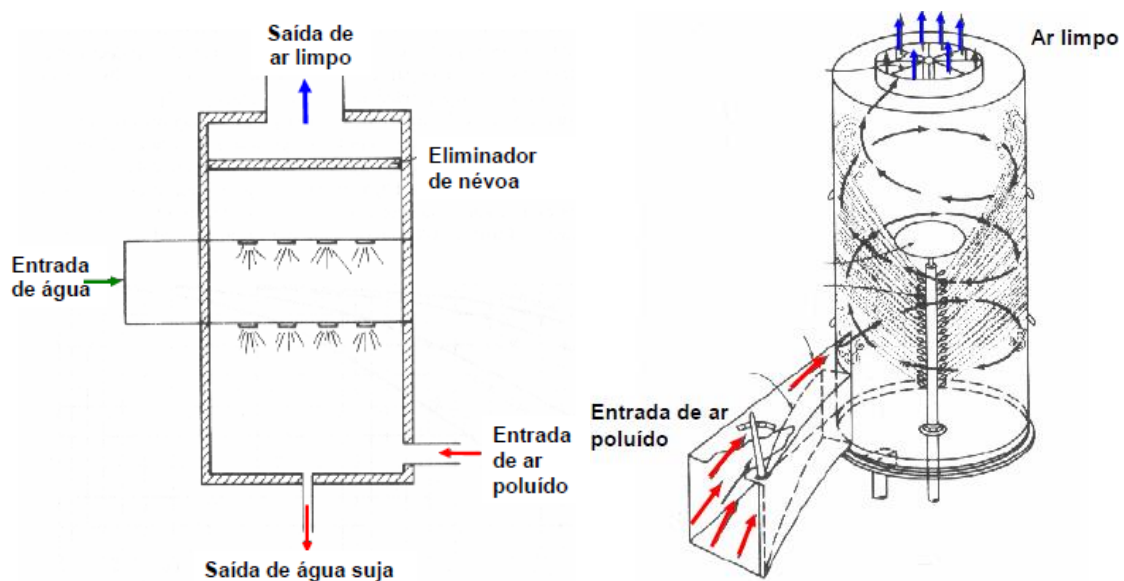


Figura 86 – Torre de lavagem e lavador com efeito *venturi*.

Os coletores húmidos são muito eficientes quando é tratado ar com partículas de grande dimensão. Só os lavadores com efeito *venturi* têm a capacidade de recolher partículas de menor dimensão ($< 2 \mu\text{m}$) mas é acompanhado com um consumo maior devido a velocidades de entrada mais elevadas. No ambiente doméstico, os coletores húmidos apresentam uma viabilidade restringida uma vez que as dimensões seriam demasiado grandes e pelo facto que a água teria de ser tratada depois de passar pelo coletor.

4.6 Comparação entre Separadores de Gases

A tabela 3 [31] descreve de forma resumida as características principais dos separadores de gases anteriormente apresentados de forma a facilitar uma comparação entre estes.

Tabela 3 – Características principais dos separadores de gases.

	Câmaras de Sedimentação Gravítica	Ciclone	Precipitadores Electroestático	Filtro de Mangas	Coletores Húmidos
Tamanho das partículas removidas	> 50 μm	> 4 μm	> 0,01 μm	> 0,5 μm	> 0,5 μm
Efeito da massa volúmica das partículas	Aumento da eficiência com o aumento da massa volúmica	Aumento da eficiência com o aumento da massa volúmica	Sem efeito na eficiência	Sem efeito na eficiência	Sem efeito na eficiência
Perda de carga	Baixa	Elevada	Baixa	Médio	Médio
Custo	Baixo	Baixo	Elevado	Elevado	Elevado
Manutenção	Baixo	Baixa	Limpezas frequentes	Limpezas frequentes	Tratamento da água
Espaço requerido	Elevado	Baixo	Elevado	Elevado	Médio

Assim conclui-se que, para a utilização do separador de gases, o ciclone apresenta as melhores características. A elevada perda de carga, que vai impor a utilização de um ventilador mais potente, é compensado pelo baixo custo, a pouca necessidade de manutenções e o espaço mínimo necessário.

ECONOMIZADOR

5.1 CARATERÍSTICAS DO ECONOMIZADOR NORBIDEL

5.1.1 GERAL

5.1.2 CLASSIFICAÇÃO DO ESP (DECRETO-LEI 211/99)

5.1.3 PARTES PRINCIPAIS

5.1.4 REGULAÇÃO DO CAUDAL DE ÁGUA.

5.1.5 CONTROLO DE PRESSÃO.

5.1.6 SISTEMA DE LIMPEZA.

5.1.7 ESPECIFICAÇÕES DA QUALIDADE DA ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO

5.1.8 PARÂMETROS DE SEGURANÇA E LIMITES DE FUNCIONAMENTO

5 Economizador

Um economizador de um gerador de vapor é um equipamento de recuperação de calor, que garante que o calor que sai com os gases de escape seja reutilizado. Este calor é utilizado para pré-aquecer a água de alimentação de modo que menos calor seja necessário para levar a água a uma temperatura suficientemente alta para produzir vapor. Pode-se considerar um economizador de um gerador de vapor, um aquecedor da água de alimentação, que assegura que a água utilizada para alimentar o gerador de vapor se torne mais quente para que este não tenha que despende muita energia para transformá-la em vapor.

Um economizador [24] de uma caldeira é um equipamento projetado para aumentar a eficiência operacional de uma caldeira, reduzindo os custos operacionais ao longo da vida útil do equipamento. Embora a economia possa ser relativamente pequena, o impacto ao longo do tempo é significativo, especialmente com um sistema de caldeiras de grande porte. Algumas caldeiras são projetadas com economizadores incorporados, enquanto em outros casos, poderá ser instalado após a construção da caldeira.

A utilização deste tipo não só evita a perda de calor, mas também pode estender a vida útil da caldeira. Quando a água de alimentação é aquecida, o diferencial de temperatura é menos extremo, colocando menos pressão na caldeira e dando-lhe uma vida útil mais longa.

5.1 Características do economizador NORBIDEL

5.1.1 Geral

É um economizador que recuperará o calor sensível dos gases de combustão provenientes de uma caldeira piro-tubular com queima de péletes, sendo a circulação dos gases forçada e efetua-se em uma só passagem no sentido descendente e em contracorrente com a água, que entra no coletor inferior e sai no coletor superior aquecendo-a dessa maneira antes de alimentar a caldeira, sendo os fumos depois canalizados para uma chaminé de exaustão através de um ventilador, ver figura 87.

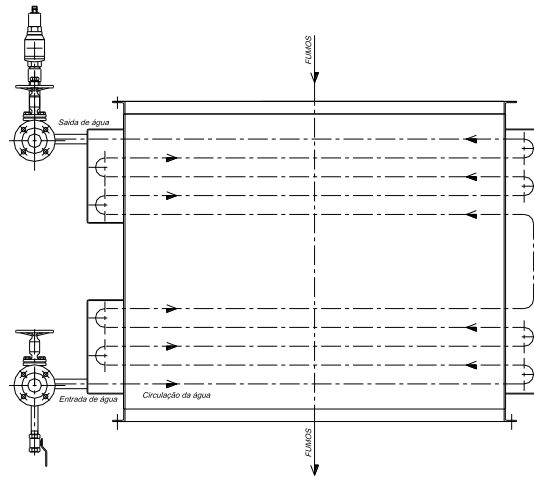


Figura 87 – Princípio de funcionamento do economizador.

As características principais do economizador são:

- | | |
|------------------------------------|---|
| • Marca | NORBIDEL |
| • Modelo | ECCOENERGY B6/14 |
| • Tipo | Vertical, com tubos duplos
alhetados dispostos na horizontal |
| • Fluido | Grupo 2 (Água + Vapor) [1] |
| • Classe de Risco | III [1] |
| • Módulo avaliação de conformidade | B + F [1] |
| • Pressão de serviço (PS) | 14 bar (rel.) |
| • Temperatura máx./min. | 197,4 / 20°C |
| • Capacidade total de água | 175 litros |
| • Superfície de aquecimento | 138 m ² |
| • Aquecimento | Gases de combustão de
combustíveis sólidos |
| • Código de construção | TRD [2] |

5.1.1.1 Códigos de construção utilizados

- | | |
|------------------------|--|
| • Legislação aplicável | Decreto-Lei nº 211/99 de 14 de Junho [1] |
| • Código de cálculo | TRD [2] |

As fórmulas usadas para o cálculo de construção da caldeira está exemplificado no anexo C.

5.1.2 Classificação do ESP (Decreto-Lei 211/99)

Em função dos riscos (Art.º 7º):

- Fluidos Água + Vapor.
- Fluidos não perigosos Grupo 2.

Avaliação da conformidade e procedimentos (Art.º 4º, Art.º 8º, Art.º 9º, Anexo II).

- Pressão de serviço PS = 14 bar. (rel.)
- Volume total V = 175 litros.

$$PS \times V = 14 \times 175 = 2450 \text{ bar.l.} \quad (6)$$

- Classe de risco do economizador (Art.º 4º, Anexo II; tab nº 5) : III.
- Módulo de avaliação de conformidade (Anexo II) : B+F.

5.1.3 Partes principais

5.1.3.1 Corpo

O economizador no essencial é composto por:

- Por um espelho frontal e um traseiro, sendo os furos efetuados numa máquina a laser, onde vão ser inseridos um feixe tubular de sessenta tubos duplos de aço sem costura, alhetados. As alhetas são retangulares, soldadas a alta frequência, ver figura 88.



Figura 88 – Espelhos, feixe tubular.

- Por cento e dezasseis curvas, que serão efetuadas a frio por máquina apropriada, que vão ligar os tubos entre si, fazendo assim o circuito que a água vai efetuar dentro do economizador. Como se pode verificar na figura seguinte, são feitos quatro circuitos de passagem, ver figura 89.



Figura 89 – Frente e traseira do economizador.

- Por um coletor inferior (A), por onde vai entrar a água no economizador, proveniente do reservatório de água e condensados, ver figura 90.
- Por um coletor superior (B), que vai fazer a alimentação de água à caldeira, ver figura 90.

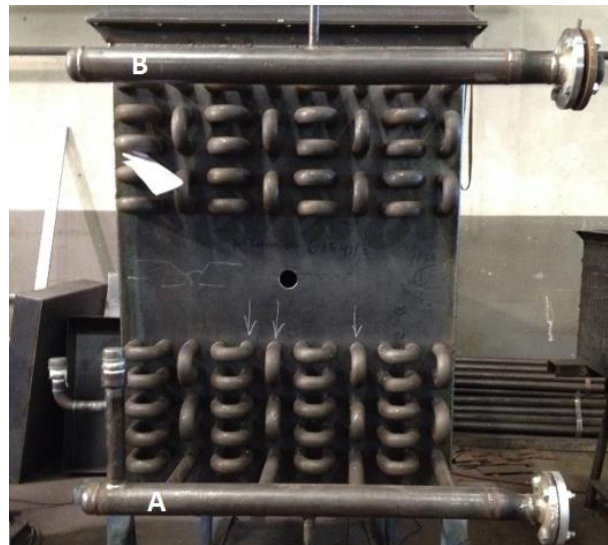


Figura 90 – Coletor superior e inferior.

- O conjunto é montado numa caixa estanque, permitindo o trabalho do economizador com os gases a baixa pressão, e será fixo ao chão entre a conduta de ligação ao ciclone (entrada de gases) e a conduta de ligação à aspiração do ventilador (saída de gases).
- Isolamento térmico será constituído por:

- Manta de lã de rocha com 80 mm de espessura e 100 kg/m^3 de massa volúmica.
- Chapa de alumínio da liga 3003, de 0,8 mm de espessura de revestimento exterior (proteção mecânica).

5.1.3.2 Tubuladuras e equipamentos

Tubuladuras de ligação de equipamentos e de interligação à instalação, inseridas no coletor superior e inferior, ver figura 91, ver anexo D, onde estão identificadas as características dos materiais usados:

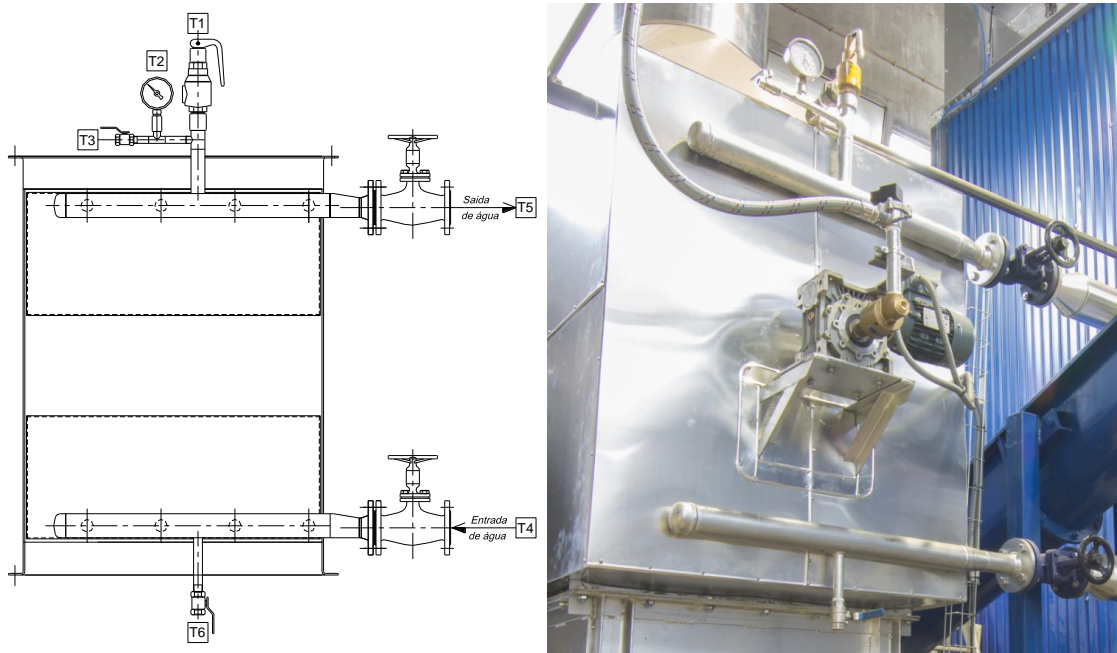


Figura 91 – Equipamentos de um economizador.

- T1 – Tubo sem costura $\varnothing 42,2 \times 4,56$ roscado - válvula de segurança.
- T2 – Tubo sem costura $\varnothing 21,3 \times 2,77$ roscado – manómetro.
- T3 – Tubo sem costura $\varnothing 21,3 \times 2,77$ roscado- purga de ar.
- T4 – Tubo sem costura $\varnothing 73 \times 5,16$ e redução $\varnothing 73 / \varnothing 60,3 \times 5,16$ - entrada de água.
- T5 – Tubo sem costura $\varnothing 73 \times 5,16$ e redução $\varnothing 73 / \varnothing 60,3 \times 5,16$ - saída de água.
- T6 – Tubo sem costura $\varnothing 26,9 \times 2,87$ roscado - purga de fundo.

5.1.3.3 Válvularia e instrumentos

O economizador é equipado com:

- Uma válvula de segurança de mola, 1" 1/4" roscada, posicionada no coletor superior, ver figura 92.



Figura 92 – Válvula de segurança (T1), ver figura 91

- Um manómetro (0-16 bar (rel.)), ½" roscado, posicionado no coletor superior, ver figura 93.



Figura 93 – Manómetro (T2), ver figura 91.

- Duas válvulas de seccionamento do tipo globo com fole inox, DN50 PN16, posicionadas nos coletores, superior e inferior, para a saída e entrada da água, respetivamente, ver figura 94.



Figura 94 – Válvula de globo (T4 e T5), ver figura 91.

- Uma válvula de purga de ar (lado da água), ½" roscada, posicionada no coletor superior, ver figura 95.



Figura 95 – Válvula macho esférico (purga) (T3), ver figura 91.

- Uma válvula de purga de fundo, 3/4" roscada, posicionada no coletor inferior, ver figura 96.



Figura 96 – Válvula macho esférico (purga) (T6), ver figura 91.

5.1.4 Regulação do caudal de água.

O sistema de regulação do caudal de água está instalado no gerador de vapor e é por variador de frequência. O controlo é efetuado por um controlador de nível capacitivo, que comanda o motor de acionamento da bomba de água de alimentação em serviço.

5.1.5 Controlo de pressão.

O controlo da pressão de serviço do economizador é efetuada pelos seguintes equipamentos:

- Um manómetro de 0 a 16 bar (rel.), instalado na tubagem de compressão das eletrobombas e no coletor superior do economizador.
- Uma Válvula de segurança de mola com as seguintes características:
 - Marca VYC
 - Modelo 095 AP
 - Dimensão 1" 1/4" rosc.
 - Pressão Nominal PN16

- Pressão de abertura: 14 bar (rel.)

5.1.6 Sistema de limpeza.

Lado da água:

- Uma purga de fundo, posicionada no coletor inferior.

Lado dos gases:

- Duas portas de inspeção aos tubos alhetados, uma superior e outra a meio do economizador, para permitir a inspeção e limpeza dos tubos alhetados, ver figura 97.
- Cana sopradora acoplada a um moto-reductor, fazendo a projeção de ar no alhetado fazendo a sua limpeza, ver figura 97.

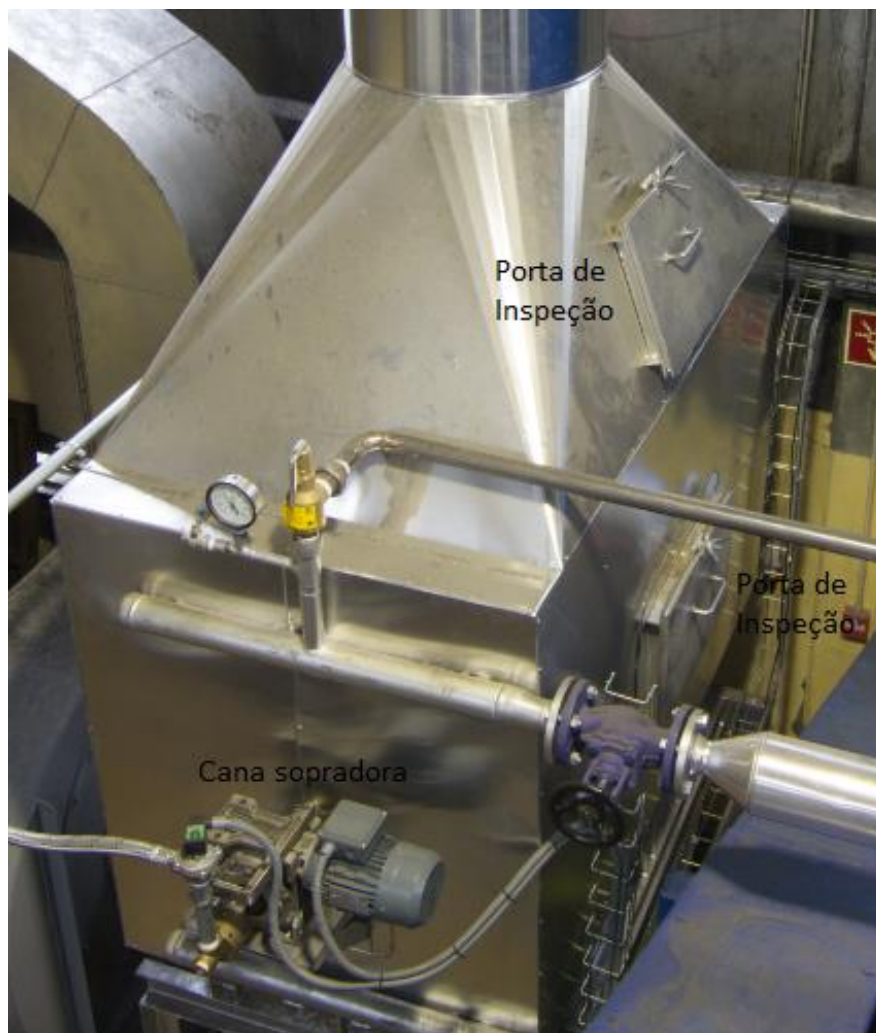


Figura 97 – Portas de inspeção e cana sopradora.

- Uma porta amovível de acesso à parte inferior do economizador para permitir a inspeção e limpeza do mesmo, ver figura 98.



Figura 98 – Porta de inspeção da parte inferior.

5.1.7 Especificações da qualidade da água de alimentação

As superfícies internas do economizador, em contacto com a água, são construídas em aço ao carbono, assim sendo, deverão ser tomadas as precauções necessárias para evitar corrosões por oxigénio dissolvido, incrustações e presença de lamas.

A água de alimentação deverá ter as mesmas características exigidas para a caldeira.

5.1.8 Parâmetros de segurança e limites de funcionamento

5.1.8.1 Parâmetros de segurança

Parâmetros de regulação, para além dos quais o economizador não poderá funcionar, devendo entrar em segurança por corte da energia de aquecimento:

- Pressão máxima da água deverá ser inferior à pressão da regulação da válvula de segurança.
- Regulação da válvula de segurança será aferida a uma pressão inferior ou igual à do projeto.

5.1.8.2 Acessórios de segurança

A válvula de segurança deverá ser dimensionada para proteger o economizador, que deverá ser capaz de evacuar a totalidade da água produzida. Ela deverá ser regulada para o valor da pressão de serviço (PS). Se disparar, em caso de acidente ou em caso de excesso de pressão, o fluido a evacuar é água sobreaquecida.

5.1.8.3 Isolamento térmico

No equipamento sob pressão, todas as partes com temperatura de parede superior a 50 °C serão isoladas termicamente (referido atrás).

5.1.8.4 Colocação em serviço

Autorização de colocação em serviço:

- O equipamento não poderá ser colocado em funcionamento sem possuir o certificado da aprovação da construção, emitido pelo Organismo Notificado e fornecido pelo construtor.

ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO À CALDEIRA

6.1 TRATAMENTOS PRELIMINARES DA ÁGUA

6.2 OBJETIVOS DO TRATAMENTO DA ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO

6 ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO À CALDEIRA

A operação segura e eficiente de uma caldeira é extremamente dependente da qualidade da água [34] disponível para alimentação da mesma. De nada adianta a instalação de um equipamento ultra moderno, com todos os acessórios periféricos disponíveis e totalmente automatizados se não é levada em consideração a qualidade da água e o tratamento químico aplicado.

A água tem uma tendência a dissolver uma série de substâncias, tais como sais, óxidos, hidróxidos, diversos materiais e inclusive gases, motivo pelo qual nunca é encontrada pura na natureza. Além das espécies dissolvidas, pode apresentar material em suspensão, tais como argila, material orgânico, óleos, etc. A presença de todas estas impurezas muitas vezes causa problemas no uso da água para geração de vapor, podendo formar incrustações e ou acelerar os processos corrosivos.

Cientes de todos os pormenores mencionados, consideramos ideal para geração de vapor uma água com as seguintes características:

- Menor quantidade possível de sais e óxidos dissolvidos.
- Ausência de oxigénio e outros gases dissolvidos.
- Isenta de materiais em suspensão.
- Ausência de materiais orgânicos.
- Temperatura elevada.
- pH adequado (faixa alcalina).

O código ASME recomenda os seguintes limites para caldeiras industriais, de acordo com as pressões de trabalho. A tabela 4 apresenta esses limites:

Tabela 4 – Limites recomendados pelo código ASME [35].

Propriedades da água de alimentação	0 - 2068 kPa (rel.)	2075 - 3103 kPa (rel.)	3110 - 4137 kPa (rel.)	4144 - 5171 kPa (rel.)	5178 - 6205 kPa (rel.)	6212 - 6895 kPa (rel.)	6902 - 10342 kPa (rel.)	10349 - 13439 kPa (rel.)
Oxigénio dissolvido (ppm O ₂)	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007
Total de ferro (ppm Fe)	≤ 0,1	≤ 0,05	≤ 0,03	≤ 0,025	≤ 0,02	≤ 0,02	≤ 0,01	≤ 0,01
Total de cobre (ppm Cu)	≤ 0,05	≤ 0,025	≤ 0,02	≤ 0,02	≤ 0,015	≤ 0,01	≤ 0,001	≤ 0,001
Dureza (ppm)	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,02	≤ 0,02	≤ 0,1	≤ 0,05	ND	ND
pH a 25 °C	8,3-10,0	8,3-10,0	8,3-10,0	8,3-10,0	8,3-10,0	8,3-9,6	8,3-9,6	8,3-9,6
Químicos	NS	NS	NS	NS	NS	VAM	VAM	VAM
Total de carbono inorgânico (ppm)	< 1	< 1	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Matéria oleosa (ppm)	< 1	< 1	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,2	< 0,2	< 0,2

NOTAS:

1. Percentagem de água tratada: 100 % da água de alimentação.
2. Assume-se a existência de um doseador.
3. Condições: inclui um sobreaquecedor, unidades de turbinas, ou restrição do processo sobre a pureza do vapor.
4. Alvo da pureza do vapor saturado como mostrado.
5. NE = não especificado.
6. ND = não detetável.
7. VAM = usar somente materiais alcalinos voláteis a montante da fonte de água temporária.

A alimentação de água com boa qualidade elimina, antecipadamente, grande parte dos problemas que normalmente ocorrem em geradores de vapor. Fica a cargo do tratamento químico interno a manutenção da qualidade da água no interior da caldeira.

Geralmente, nas águas superficiais e subterrâneas que são usadas nos processos industriais, encontramos as seguintes substâncias dissolvidas:

- Dureza, representada basicamente pelos iões do cálcio e magnésio (Ca²⁺ e Mg²⁺), principalmente os sulfatos (SO₄²⁻), carbonatos (CO₃²⁻) e bicarbonatos (HCO₃⁻).
- Sílica solúvel (SiO₂) e silicatos (SiO₃²⁻) associados a vários catiões.
- Óxidos metálicos (principalmente de ferro), originados de processos corrosivos.
- Diversas outras substâncias inorgânicas dissolvidas.
- Material orgânico, óleos, açúcares, material de processo, contaminantes de condensados, etc.
- Gases, como oxigénio, gás carbónico, amoníaco, óxidos de azoto e enxofre.

- Materiais em suspensão, como areia, argila, lodo, etc.

Para evitar que todas essas impurezas entrem no sistema do gerador de vapor, deve-se proceder a um tratamento preliminar na água de reposição da caldeira.

6.1 Tratamentos preliminares da água

São procedimentos recomendados para o tratamento da água de reposição nas caldeiras, visando retirar as impurezas e evitar as consequências da sua presença. O tratamento preliminar atua primeiramente sobre as impurezas mais grosseiras, tais como turvação, sólidos em suspensão e material orgânico. Depois, dependendo da necessidade, são feitos tratamentos mais sofisticados para a eliminação do material dissolvido.

Apesar de toda tecnologia disponível, muitos utilizadores de caldeiras não fazem pré-tratamento de água, o que é extremamente desaconselhável e dificulta enormemente o trabalho do tratamento químico interno posterior (quando é feito). Não é raro encontrarem-se caldeiras alimentadas com água bruta, diretamente de fontes como rios, represas e poços.

Os métodos mais empregados para tratamento preliminar da água são:

- Clarificação / filtração: operação realizada normalmente numa estação de tratamento de água, responsável pela eliminação do material suspenso na água. A clarificação é feita por um processo de coagulação e floculação das impurezas, mediante a adição de um ou mais produtos específicos. O produto aglutina as impurezas da água através de interações eletrostáticas e promove a formação de flocos, maiores e mais densos que se sedimentam e são eliminados. A água clarificada é então submetida a uma filtração, através de filtros que operam por gravidade ou pressão.
- Processos de troca iónica: é um tratamento complementar que visa a remoção dos iões dissolvidos na água que causam problemas, tais como cálcio, magnésio, sílica, etc. Neste processo usam-se resinas de troca iónica, que são pequenas esferas porosas de material plástico cuja superfície está ligada aos iões, que serão usados na troca. Assim, existem dois tipos básicos de resina: as catiónicas, que trocam iões positivos e as aniónicas, que trocam iões negativos.

O processo consiste em fazer passar a água por uma ou mais camadas dessas resinas, as quais retêm os iões. Quando a camada estiver saturada deverá ser regenerada adequadamente.

Como desvantagem, o processo tem custo relativamente elevado (principalmente o custo das resinas) e a necessidade do uso e manuseamento de produtos químicos perigosos para a regeneração das camadas das resinas.

Dependendo da finalidade a que se propõem, os processos de troca iônica para água são:

- Abrandamento: consiste na remoção de cálcio e magnésio da água. Usam-se resinas que trocam iões de sódio (Na^+) ou hidrogénio (H^+). Após saturação a regeneração é feita com cloreto de sódio ou ácido clorídrico.
- Desmineralização: trata-se de um processo completo, removendo os iões positivos e negativos da água e deixando-a praticamente isenta de materiais dissolvidos.
- Processo por osmose reversa, ver figura 99: consiste em fazer a água, previamente filtrada, passar por um dispositivo normalmente cilíndrico, onde os sais presentes na água são retidos por membranas seletivas especialmente fabricadas. A água pura é eliminada radialmente pelo cilindro, sendo depois deitada fora a água com elevada concentração de sais. Apresenta como desvantagem o elevado custo e a necessidade de funcionar com vários cilindros colocados em paralelo para obtermos uma boa quantidade de água.

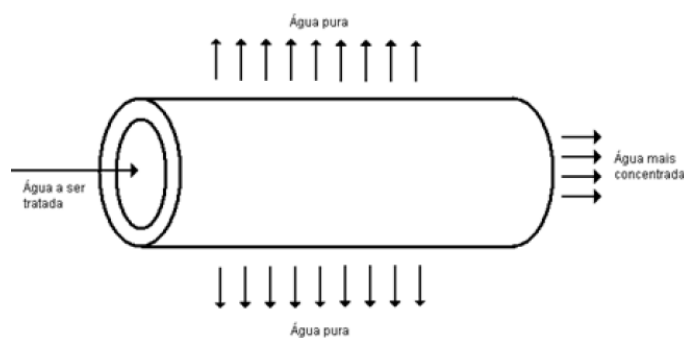


Figura 99 – Tratamento de água por osmose reversa.

- Destilação: consiste em vaporizar a água e condensá-la em seguida para a produção de água pura e assim alimentar a caldeira.

6.2 Objetivos do tratamento da água de alimentação

O tratamento químico interno da água de alimentação à caldeira e também as operações de tratamentos preliminares visam atingir os seguintes objetivos:

- Evitar a formação de incrustações: a água encontrada na natureza nunca é pura, apresentando uma vasta gama de substâncias dissolvidas. Muitas destas substâncias são sais e óxidos, apresentando solubilidades diferentes, e influenciadas basicamente pela temperatura, concentração e pH. Com a vaporização de água na caldeira, há um aumento na concentração das substâncias dissolvidas que permaneceram na fase líquida. Se forem ultrapassados os limites de solubilidade destas substâncias, as mesmas podem se precipitar de forma aderente nas superfícies de troca térmica (tubos do feixe de convecção, tubos de parede de água, tubo da fornalha, tubulares, etc.) constituindo as incrustações. Outras substâncias também podem se incrustar ou depositar na caldeira, tais como produtos de corrosão na seção pré e pós-caldeira, sólidos em suspensão, material orgânico advindo de contaminações e produtos insolúveis originados de reações químicas na água. Normalmente esta precipitação ocorre sob a forma de cristais, capazes de se fixarem às superfícies internas da caldeira. As principais consequências da presença de incrustações nas caldeiras são:
 - Diminui a taxa de troca térmica na caldeira, devido ao efeito isolante que a incrustação impõe à transferência de calor, proporciona ao fluxo de calor (tem baixa condutibilidade térmica).
 - Aumento do consumo de combustível, devido ao item anterior.
 - Diminuição da produção de vapor, também devido do primeiro item.
 - Devido à restrição ao fluxo de calor, a presença de incrustações pode causar superaquecimento de um tubo e sua ruptura, parando o funcionamento do equipamento e podendo até causar acidentes fatais.
 - Obstrução de tubos, válvulas, descargas e coletores da caldeira, comprometendo o fluxo de água e acentuando ainda mais a formação das incrustações.

- Possibilidade de rutura de tubos, carcaça e danificação na estrutura da caldeira, comprometendo a sua integridade e podendo até inutilizar o equipamento.
 - Incrustações nos instrumentos e dispositivos de controlo (pressostatos, visores e controlos de nível, etc.) podem comprometer o funcionamento adequado e seguro destes equipamentos, aumentando o risco de acidentes.
 - Aumento dos processos corrosivos que ocorrem sob os depósitos/incrustações.
- Evitar os processos corrosivos: corrosão pode ser definida como a destruição da estrutura de um metal através de reações químicas e ou eletroquímicas com o ambiente em que o mesmo se encontra. Podemos dizer que a corrosão é uma forma natural dos metais voltarem ao estado original em que eram encontrados na natureza, tais como nos minérios (óxidos), isto ocorre porque nesta forma os metais apresentam-se da maneira mais estável possível do ponto de vista energético. As sérias consequências dos processos de corrosão têm-se tornado um problema de âmbito mundial, principalmente em relação aos aspetos económicos.

Basicamente, a corrosão envolve reações de óxido redução, ou seja troca de eletrões. É um processo eletroquímico no qual o ânodo (espécie onde ocorre oxidação – perda de eletrões) é consumido está separado por uma certa distância do cátodo, onde ocorre redução (ganho de eletrões). O fenómeno ocorre devido à existência de uma diferença de potencial elétrico entre estes dois locais.

Se conseguirmos eliminar o oxigénio da água da caldeira, controlaremos os processos corrosivos elementares. Assim, a remoção do oxigénio é um dos mais importantes meios de se prevenir a corrosão nas caldeiras. Um outro método consiste em manter o pH da água na faixa alcalina, o que elimina a hipótese de ocorrer corrosão no metal por ataque ácido.

- Eliminar as ocorrências de arrasto de água: outro problema enfrentado no tratamento de água para geração de vapor é a ocorrência de arrastamentos de água da caldeira para a seção pós-caldeira (linhas de distribuição de vapor, turbinas, equipamentos, etc.). Como consequências desse fenômeno, podemos enumerar as seguintes:
 - Deposição e incrustação de sais no filtro de vapor e equipamentos da seção pós-caldeira, como turbinas, válvulas, acessórios, etc., podendo causar danos significativos nos mesmos.
 - Formação dos chamados golpes de aríete nas linhas de vapor, devido à formação de um jato de água na mesma e o deslocamento do mesmo a velocidades razoavelmente elevadas.
 - Abrasão na tubulação, válvulas e acessórios da linha de vapor.

RECUPERAÇÃO DO CONDENSADO

7.1 CONDENSADO

7.2 TANQUE DE CONDENSADOS

7.2.1 PARTES PRINCIPAIS

7.3 BENEFÍCIOS DA RECUPERAÇÃO DOS CONDENSADOS

7.3.1 REDUÇÃO DO CUSTO DE COMBUSTÍVEL

7.3.2 REDUÇÃO DE GASTOS RELATIVOS À ÁGUA

7.3.3 IMPACTO POSITIVO NA SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE

7 RECUPERAÇÃO DO CONDENSADO

7.1 Condensado

O condensado [29] é o líquido formado quando o vapor passa do estado gasoso para o líquido. Num processo de aquecimento, o condensado é o resultado após o vapor ter transferido uma porção da sua energia térmica conhecida como calor latente para o produto, linha ou equipamento que está a ser aquecido.

Se 1 t/h de vapor é fornecido ao equipamento para o processo de aquecimento, então a mesma quantidade de condensado (1 t/h) precisa de ser descarregada a partir do equipamento. A recuperação de condensado é um processo de reutilização da água e do calor sensível contido no condensado descarregado. A recuperação do condensado, ao invés de deitá-lo fora, é encaminhado e reservado num tanque, pode levar à economia significativa de energia, de tratamento químico e de água de adição.

O condensado pode ser reutilizado em muitos diferentes modos, por exemplo:

- Como água de alimentação aquecida, enviando o condensado quente de volta para o tanque de condensados da caldeira.
- Como pré-aquecimento, para qualquer sistema de aquecimento que seja aplicável.
- Como vapor, através da reutilização do vapor instantâneo (“flash”).
- Como água quente, para limpeza do equipamento ou outras aplicações de limpeza.

7.2 Tanque de condensados

O tanque de condensados deve ser metálico com capacidade de no mínimo, a capacidade de geração das caldeiras.

7.2.1 Partes principais

7.2.1.1 Corpo

O seu conjunto no essencial é composto por:

- Virola cilíndrica exterior, construída em chapa de aço enrolada a frio.
- Fundos copados, posterior e anterior, em chapa de aço.

7.2.1.2 Tubuladuras de ligação

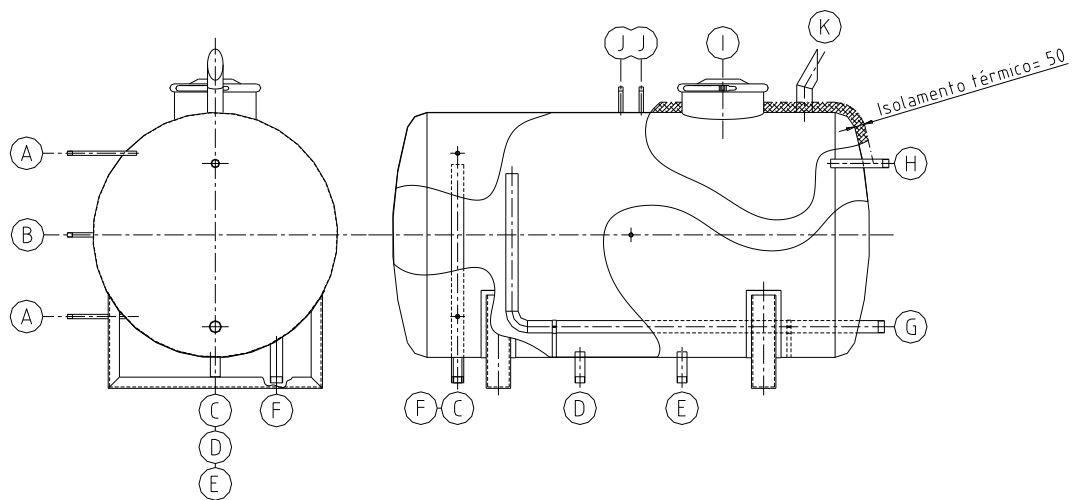


Figura 100 – Tubuladuras e equipamentos.

Tubuladuras de ligação de equipamentos e de interligação à instalação, inseridas no corpo, ver figura 100:

- A – Indicador de nível.
- B – Termómetro.
- C – Purga.
- D – Alimentação da caldeira.
- E – Reserva.
- F – Extravaso ou tubo ladrão.
- G – Entrada de condensados.
- H – Entrada de água.
- I – Porta de visita.
- J – Controlador de nível.
- K – Respiro.

Deve-se isolar o tanque, bem como as tubuladuras do condensado e da água, pois qualquer queda de temperatura irá reduzir o benefício energético do retorno de condensado.

7.3 Benefícios da recuperação dos condensados

A reutilização do condensado quente pode levar à redução considerável em termos de energia e recursos de água, bem como melhoria das condições de trabalho e redução da pegada de carbono, se o combustível for de origem fóssil renovável.

7.3.1 Redução do custo de combustível

O condensado contém uma quantidade significativa de calor sensível que pode ser avaliada em torno de 10 a 30 % [29] da energia térmica inicial contida no vapor.

A alimentação da caldeira com o condensado de alta temperatura pode maximizar o resultado, pois menor energia térmica é necessária para transformar a água em vapor. Quando recuperado e reutilizado de maneira eficiente, o condensado pode tornar possível a redução do combustível da caldeira.

7.3.2 Redução de gastos relativos à água

Uma vez que todas impurezas coletadas durante o transporte do condensado estejam removidas, o condensado pode ser reutilizado como água de alimentação da caldeira, reduzindo o fornecimento da água e custos de tratamento, bem como custos associados com a água fria utilizada para reduzir a temperatura do condensado, quando aplicável.

7.3.3 Impacto positivo na segurança e meio ambiente

A redução da necessidade de combustível da caldeira através da recuperação do condensado leva a menor poluição do ar através da redução das emissões de CO₂, NO_x e SO_x.

Adicionalmente, linhas de recuperação do condensado podem limitar também as nuvens de vapor para reduzir o ruído gerado a partir da descarga atmosférica do condensado e ajudar a prevenir o acúmulo de água no chão, melhorando de maneira considerável o ambiente de trabalho da fábrica.

Dependendo da quantidade de condensado a ser recuperado e reutilizado, outros benefícios que podem ser incluídos é a redução da necessidade de purga da caldeira através da alimentação da água de melhor qualidade e menor corrosão no sistema, já que a qualidade da água torna-se mais consistente em toda a rede.

COLETOR DE VAPOR

8.1 PARTES PRINCIPAIS

8.1.1 CORPO

8.1.2 TUBULADURAS E EQUIPAMENTOS

8 COLETOR DE VAPOR

A tubagem de vapor [30] consta em primeiro lugar de uma linha de vapor que conduz o vapor acabado de produzir da, ou das caldeiras que constituem a instalação geradora de vapor, a um coletor principal de avanço, situado na sala das caldeiras. Este coletor é um tubo ou uma virola cilíndrica, ver figura 101, com dimensões adequadas aos caudais em jogo, levando em consideração as linhas de entrada de vapor, provenientes de cada uma das caldeiras que existem na instalação e as linhas de saída do vapor para os principais consumidores. Cada uma das tubuladuras desse coletor sejam de entrada ou de saída, estão equipadas com válvulas de globo que possibilitam o corte dessas linhas.

O coletor principal de avanço está equipado com um sistema de purga assim como de manómetro e de um sistema de medida da temperatura do vapor.

As linhas de distribuição principais levam o vapor deste coletor geral de ida até às respectivas zonas da instalação fabril, tendo por término geralmente um coletor setorial, de menores dimensões do que o coletor principal de avanço. Desse coletor setorial saem agora os ramais de vapor que irão servir os diversos consumidores dessa zona da instalação fabril. Os coletores setoriais também estão equipados de sistemas de purga, termómetro e manómetro.

Em instalações de pequena dimensão não existem coletores setoriais e então as linhas principais apresentam ramificações que servem os diversos utilizadores.

Tendo as linhas de vapor de grande comprimento, é necessário retirar-lhes a água que condensou durante o transporte do vapor, sendo por isso necessário colocar a distâncias previamente definidas, e que são função das dimensões e caudais de vapor transportados nessas linhas, potes de purga equipados com sistema de purga.

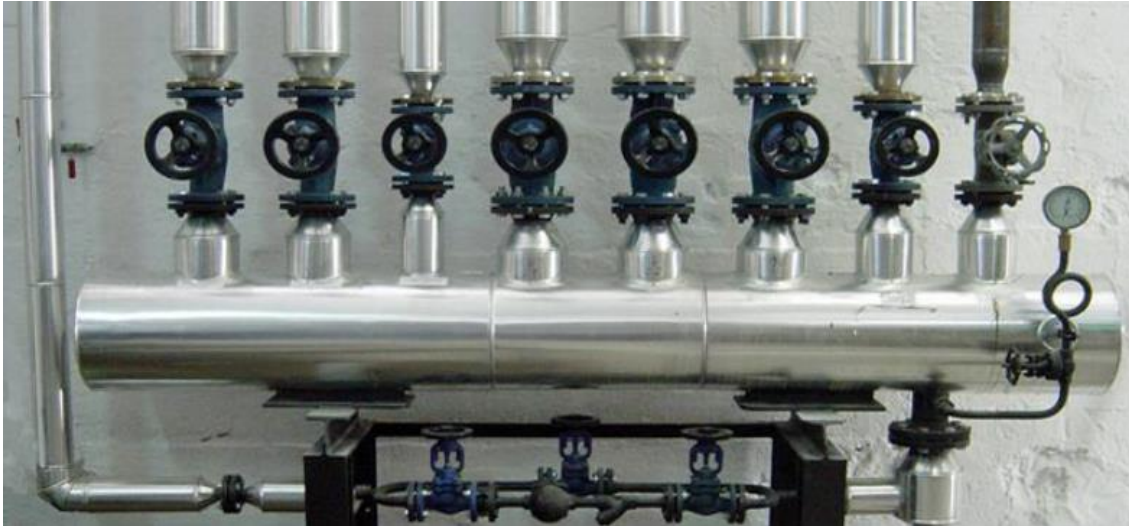


Figura 101 – Coletor de vapor.

8.1 Partes principais

8.1.1 Corpo

O seu conjunto no essencial é composto por:

- Tubo de aço sem costura.
- Fundos copados, posterior e anterior em aço.

8.1.2 Tubuladuras e equipamentos

Tubuladuras de ligação de equipamentos e de interligação à instalação, inseridas no corpo, ver Figura 102:

- A – Manómetro.
- B – Saída de vapor – Utilizador.
- C – Saída de vapor – Utilizador.
- D – Entrada de vapor – Caldeira.
- E – Saída de vapor – Reserva.
- F – Conjunto de purga automático.
- G – Purga de fundo.

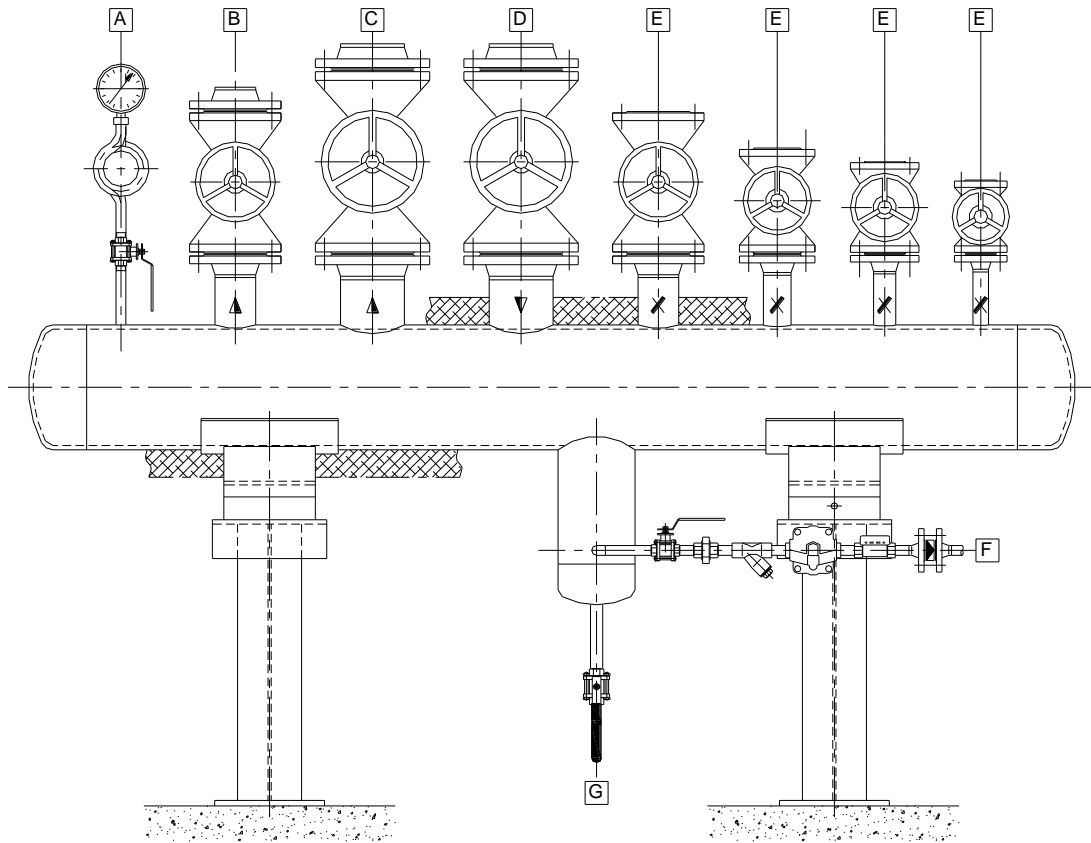


Figura 102 – Tubuladuras e equipamentos tipo.

Deve-se isolar o coletor, bem como as tubuladuras de vapor, pois qualquer queda de temperatura irá reduzir o benefício energético do vapor.

VENTILADORES

9.1 AR PRIMÁRIO

9.2 AR SECUNDÁRIO E TERCÁRIO

9.3 EXTRAÇÃO DE FUMOS

9 VENTILADORES

Na instalação são usados três ventiladores, com usos diferentes, dois deles colocados diretamente na ante-fornalha. Um para fazer a mistura do combustível, com o comburente (ar primário), outro vai insuflar ar a meio da ante-fornalha para criar uma cortina (ar secundário e terciário) para não deixar passar partículas de grandes dimensões, fazendo-as cair para queimar completamente as que ainda não queimaram e por fim outro, o extrator, é colocado após o economizador para fazer não só a extração dos fumos para a chaminé, mas também para criar depressão dentro da ante-fornalha.

9.1 Ar primário

O ventilador é colocado na parte de trás da ante-fornalha, ver figura 104, que ligado a uma conduta e ao espelho da mesma onde faz a insuflação do ar por de baixo da grelha. Para melhor rendimento da queima o ar que está a ser insuflado já vai a uma temperatura alta, pois é aquecido previamente.

O sistema de regulação do ar primário será composto pelo ventilador, com um variador de frequência e com as seguintes características, ver figura 103:

- Marca FERRARI
- Modelo MEC 451 N4
- Tipo Acoplamento direto
- Motor de acionamento 7,5 kW – 2 polos
- Posição de descarga RD 270

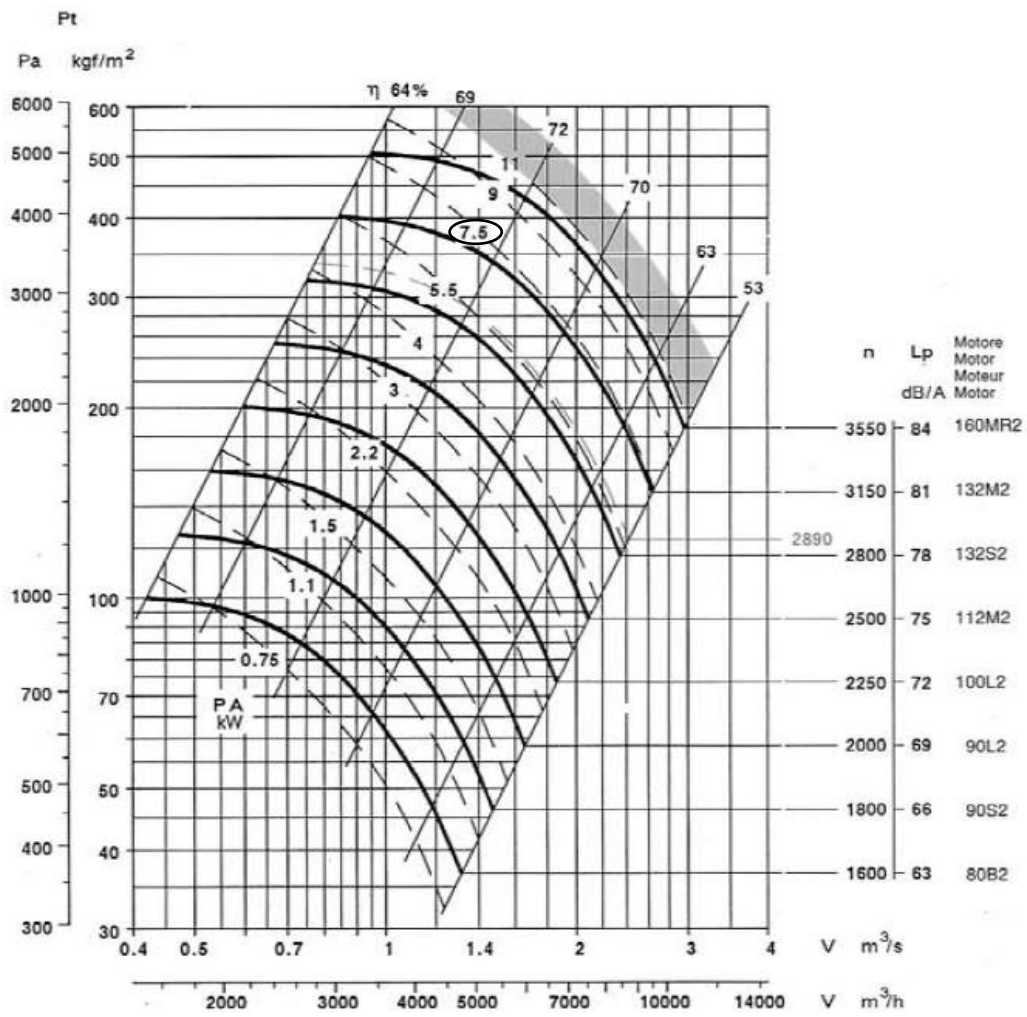


Figura 103 – Curva característica do ventilador FERRARI MEC 451N4.



Figura 104 – Ventilador ar primário.

9.2 Ar secundário e terciário

O ar de alimentação é feito por um ventilador que vai insuflar ar tanto na frente como na traseira da ante-fornalha, ver figuras de 106 a 108, fazendo o efeito de uma cortina de dois níveis para não deixar passar partículas não queimadas de grandes dimensões, fazendo com que elas caiam fazendo a sua queima. Assim os fumos passam para a caldeira mais limpos, evitando assim erosão por partículas abrasivas dos tubos da mesma.

O sistema será composto por um ventilador, com variador de frequência e com as seguintes características, ver figura 105:

- Marca SODECA
- Modelo CA-172-2T-10
- Tipo Acoplamento direto
- Motor de acionamento 7,5 kW

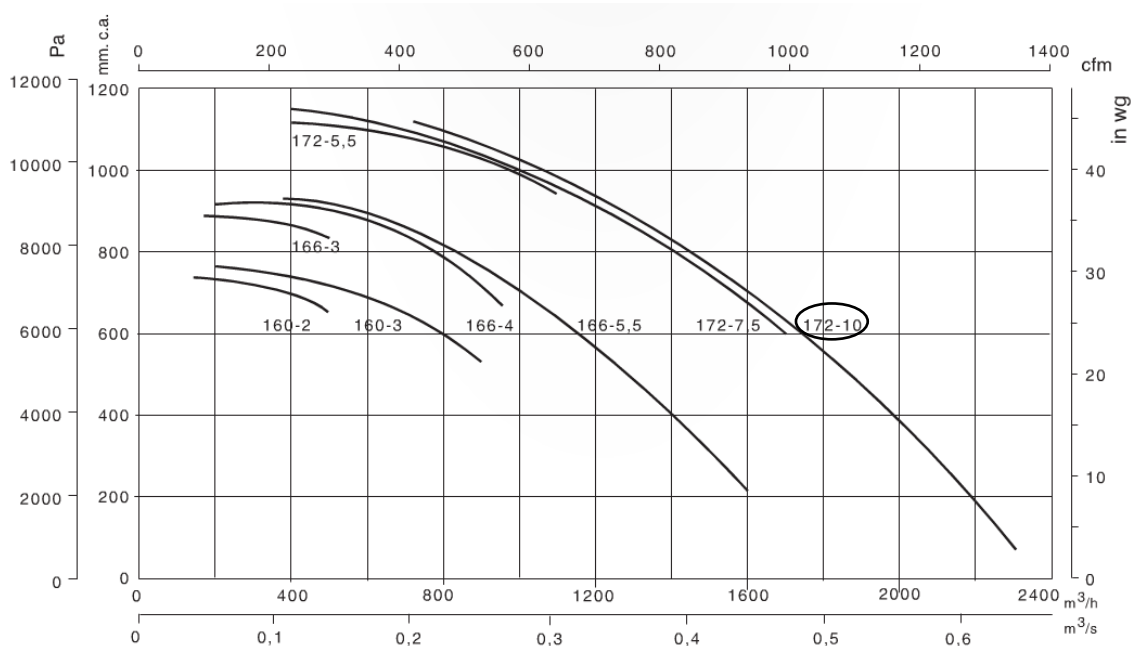


Figura 105 – Curva característica do ventilador SODECA CA-172-2T-10.



Figura 106 – Parede frontal e traseira da ante-fornalha.

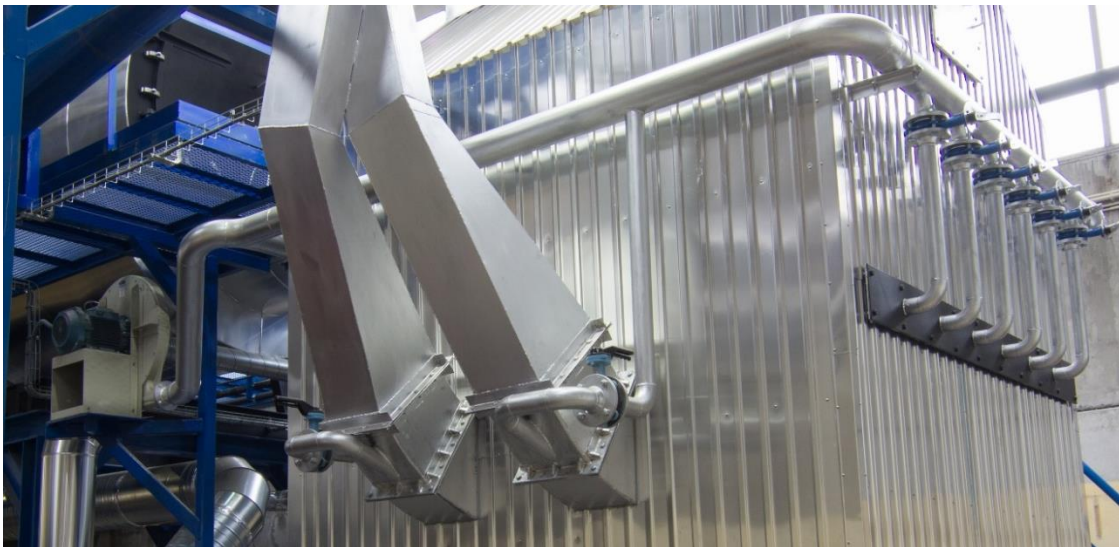


Figura 107 – Ventilador a insuflar ar na frente e na zona de alimentação.



Figura 108 – Ventilador a insuflar ar na traseira da ante-fornalha.

9.3 Extração de fumos

O ventilador de extração está colocado entre o economizador, ligado a uma conduta entre o fundo do economizador e a admissão de ar do ventilador, e a chaminé, ver figura 111. Este ventilador tem como funções a de expulsão dos fumos provenientes da combustão do combustível na ante-fornalha, que fazem o circuito ante-fornalha / caldeira / ciclone / economizador / ventilador e chaminé. Mas também tem a função de criar depressão na ante-fornalha, para quando abrirmos a porta da mesma não sair nenhuma língua de fogo, ver figura 109, para verificarmos a queima, porque a fornalha não é estanque.



Figura 109 – Abertura da porta sem perigo de saída de fogo.

O sistema de extração de fumos será composto por um ventilador, com variador de frequência e com as seguintes características, ver figura 110:

- Marca FERRARI
- Modelo ART 1001 N12
- Tipo Acoplamento por transmissão por correias
- Motor de acionamento 30 kW – 4 polos
- Posição de descarga LG 0

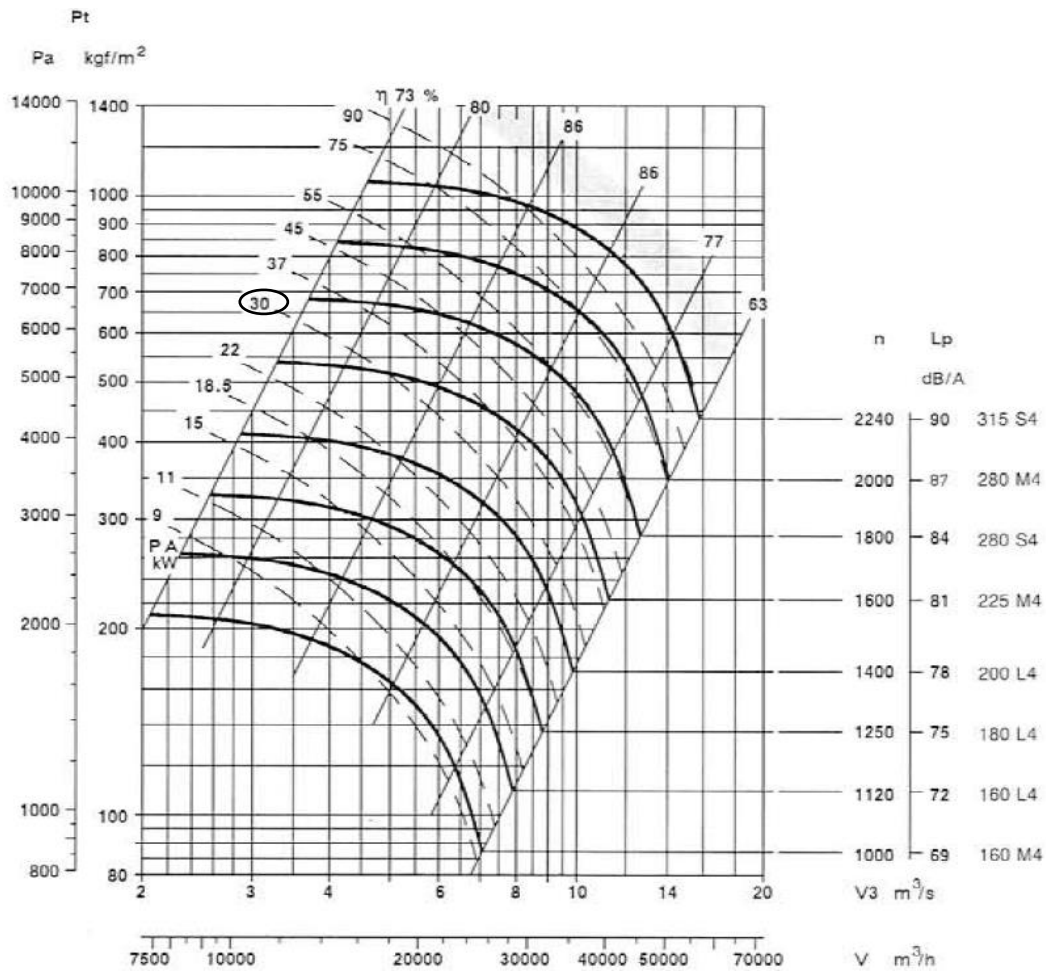


Figura 110 – Curva característica do ventilador FERRARI ART 1001 N12.



Figura 111 – Ligação do ventilador ao economizador/chaminé.

CHAMINÉ

10.1 CARATERÍSTICAS

10.2 MONITORIZAÇÃO DAS EMISSÕES PARA A ATMOSFERA

10 CHAMINÉ

As chaminés [8] ajudam na tiragem dos gases de combustão devido à diferença de pressões entre a sua base e o seu topo, provocada pela diferença de temperatura dos gases da combustão.

As chaminés podem ser construídas de chapas de aço ou de alvenaria, empregando-se tijolos comuns. Em qualquer dos casos, a sua construção deve ser muito rigorosa, levando-se em conta a quantidade e a velocidade dos gases da base, do tipo de material empregado e a pressão atmosférica no local. Em nenhuma hipótese poderão existir fendas que possibilitem a entrada falsa de ar.

Pela chaminé deverão sair o gás carbónico (CO_2), o vapor de água (H_2O) e outros compostos. Isso, porém, na maioria das vezes não ocorre e junto com o gás carbónico há um grande desprendimento de fuligem que contribui para a poluição da atmosfera.

Os fumos que saem pela chaminé, quando apresentam uma coloração clara, podem indicar um pequeno excesso de ar e quando sua coloração for escura, indicam a presença de combustível não queimado pela deficiência na alimentação de ar, de forma a atingir uma relação ar-combustível adequado.

A maneira mais segura de determinar as quantidades de gás carbónico que se dispersam pela chaminé é fazer uma análise com aparelhos indicadores que são inseridos na própria chaminé, nas tomas de amostras, para avaliar a composição os gases de saída.

A descarga dos poluentes para a atmosfera deverá ser efetuada através de uma chaminé construída por forma a:

- Que a sua altura permita a dispersão adequada dos poluentes para a atmosfera e promova a salvaguarda do ambiente e da saúde humana.
- Impedir a entrada de ar no seu interior, evitando assim qualquer processo de diluição dos efluentes gasosos.
- Garantir que a velocidade de saída do efluente gasoso permita a sua adequada dispersão em conformidade com o previsto na legislação.

10.1 Caraterísticas

A altura da chaminé [8], expressa em metros, é a distância entre o seu topo e o solo, medida na vertical, sendo determinada em função do nível de emissões dos poluentes atmosféricos, dos obstáculos próximos, dos parâmetros climatológicos e das condições de descarga dos efluentes gasosos, de acordo com a metodologia de cálculo fixada no anexo I da Portaria n.º 263/2005, de 17 de Março [6].

A portaria acima referida vai fixar os requisitos que garantam um dimensionamento de chaminés adequado à boa dispersão dos poluentes, tendo nomeadamente em conta a características do efluente gasoso e a existência de obstáculos na vizinhança. A definição das condições de descarga de poluentes para a atmosfera constitui um aspeto fundamental para a preservação da qualidade do ar e, conseqüentemente, para a salvaguarda da saúde humana e do ambiente. Neste sentido, o Decreto-Lei n.º 78/2004, de 3 de Abril [7], habilita a que, através desta portaria, sejam estipuladas novas regras para o cálculo da altura de chaminés e definidas as situações em que devem, para esse efeito, ser realizados estudos de dispersão de poluentes atmosféricos.

Este decreto [7] estabelece o regime de prevenção e controlo de emissões de poluentes para a atmosfera, fixando princípios, objetivos e instrumentos apropriados à garantia de proteção do recurso natural do ar, bem como as medidas, procedimentos e obrigações dos operadores das instalações abrangidas, com vista a evitar ou reduzir a níveis aceitáveis a poluição atmosférica organizada nessas mesmas condições.

Estão abrangidas todas as fontes de emissão gasosas associadas (n.º1 do art.º 3º):

- Atividades industriais.
- Produção de eletricidade e/ou vapor.
- Manutenção e reparação de veículos.
- Pesquisa e exploração de massas minerais.
- Atividades de armazenagem de combustível.

Ficam excluídas todas as fontes de emissão gasosas associadas (n.º2 do art.º 3º):

- Instalações de combustão com potência térmica nominal igual ou inferior a 100 kW térmicos.

- Geradores de emergência.
- Sistemas de ventilação.
- Instalações utilizadas exclusivamente para investigação, desenvolvimento ou experimentação de novos produtos ou processos.

Normas relativas à construção de chaminés:

- A altura da chaminé nunca poderá ser inferior a 10 metros, salvo nas situações previstas no n.º 2 a 5 do artigo 31.º do Decreto-Lei n.º 78/2004, de 3 de Abril [7], e a diferença de cotas, entre o topo da chaminé e a mais elevada das cumeeiras dos telhados do edifício onde se encontra implantada não poderá ser inferior a 3 metros.
- A chaminé deve apresentar secção circular.
- Não é permitida a colocação de “chapéus” ou de outros dispositivos similares no topo de qualquer chaminé associada a processos de combustão.
- Podem ser colocados dispositivos no topo de chaminés associada a processos que não sejam de combustão, desde que os mesmos não diminuam a dispersão vertical ascendente dos gases.
- A chaminé deve ser dotada de tomas de amostragem para captação de emissões e de plataformas fixas. As secções da chaminé onde se procede às amostragens e às respetivas plataformas devem satisfazer os requisitos estabelecidos na Norma Portuguesa em vigor (NP2167:2007), em que devem ser colocadas no mínimo a oito diâmetros (da chaminé) acima de qualquer perturbação e dois abaixo de qualquer outra perturbação.
- No caso de não ser possível a colocação da toma de acordo com a Norma Portuguesa acima referida, poderá ser colocada segundo a Norma Europeia EN 13284-1 [10], em que devem ser colocadas no mínimo a cinco diâmetros (da chaminé) acima de qualquer perturbação e cinco abaixo de qualquer outra perturbação.

10.2 Monitorização das emissões para a atmosfera

O operador de uma instalação abrangida pelo DL 78/2004, deverá, tendo em conta as características das suas fontes de emissão de poluentes atmosféricos e o estipulado na Portaria n.º 80/2006, de 23 de Janeiro, averiguar qual o regime de monitorização

aplicável (por fonte e por poluente). Assim, para uma determinada fonte, atendendo aos dados qualitativos e quantitativos das emissões de todos os poluentes relevantes e respetivos caudais mássicos emitidos, o operador definirá o regime de monitorização aplicável, por poluente:

- Monitorização pontual: se o caudal mássico de emissão de um determinado poluente for inferior ao respetivo limiar mássico máximo fixado na Portaria n.º 80/2006. A periodicidade de monitorização a aplicar poderá ser:
 - Caso geral: duas vezes em cada ano civil.
 - Casos particulares:
 - Regime mais exigente e adequado a uma determinada situação específica, definido pela CCDR territorialmente competente.
 - Uma vez por ano (atividades sazonais) – periodicidade anual.
 - Uma vez de três em três anos – periodicidade trianual.
 - Regime de rotatividade (fontes múltiplas).
 - Dispensa de monitorização.
- Monitorização em contínuo: se o caudal mássico de emissão de um determinado poluente for superior ao seu limiar mássico máximo, fixado na Portaria n.º 80/2006.

Salienta-se que, o regime de monitorização de uma determinada fonte poderá ser distinto de poluente para poluente.

No sentido de definir e harmonizar os procedimentos de todos os intervenientes na aplicação do Decreto-Lei n.º 78/2004, a nível nacional, a Agência Portuguesa do Ambiente, elaborou Diretrizes relativas à descarga de poluentes na atmosfera e à monitorização das emissões atmosféricas.

A Agência Portuguesa do Ambiente [11] é a entidade competente para o acompanhamento dos resultados da monitorização em contínuo das emissões para a atmosfera, e para estes estabelecimentos, recebe igualmente os resultados das caracterizações pontuais.

MONITORIZAÇÃO

11.1 CONTROLO DA CALDEIRA/ANTE-FORNALHA

11.2 CONTROLO DA ALIMENTAÇÃO DE COMBUSTÍVEL

11.3 CONTROLO DA ALIMENTAÇÃO DE ÁGUA DA CALDEIRA

11.4 SISTEMAS DE SEGURANÇA

11 MONITORIZAÇÃO

Para um melhor controlo da instalação de geração de vapor é elaborado um sistema de gestão das caldeiras, onde o operador passa a ter acesso a todas as informações e parâmetros da caldeira e diversos equipamentos dentro da sala de controlo, ver figuras 112 e 113.

O sistema de gestão das caldeiras é feito para facilitar a operação e manter os parâmetros de confiabilidade e economia.

Para manter os valores de uma caldeira dentro dos parâmetros desejáveis, faz-se o uso de automatização com controladores dedicados ou PLC e com toda instrumentação do mais alto nível tecnológico.

Hoje, as empresas no geral, necessitam de dados que comprovem uma economia eficaz, e por isto estão a automatizar todos os seus processos e sistemas.

Com soluções de gestão projetadas para as empresas, é garantido uma melhor estabilidade da combustão e do vapor gerado na caldeira em função da pressão do vapor estável (devido ao controlo do ar secundário e primário e exaustão dos gases provenientes da combustão), com fiabilidade em todo sistema de combustão melhorando em todos os aspetos, operacionais e de segurança.



Figura 112 – Quadro de comando.

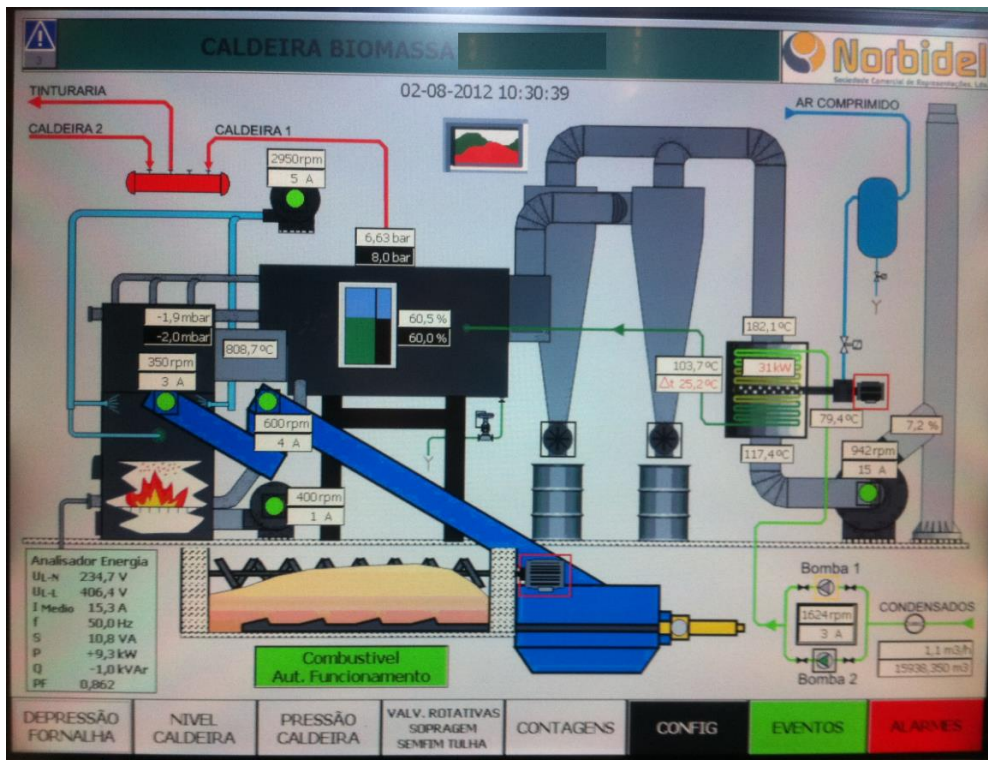


Figura 113 – Painel de monitorização.

de condensados, para a produção de vapor desejado, sem atingir pontos críticos de ficar sem ou com excesso de água.

É também gerido a temperatura de entrada na caldeira, bem como no economizador, para verificar se está a haver realmente recuperação de calor através dos gases de exaustão, ver figura 115.

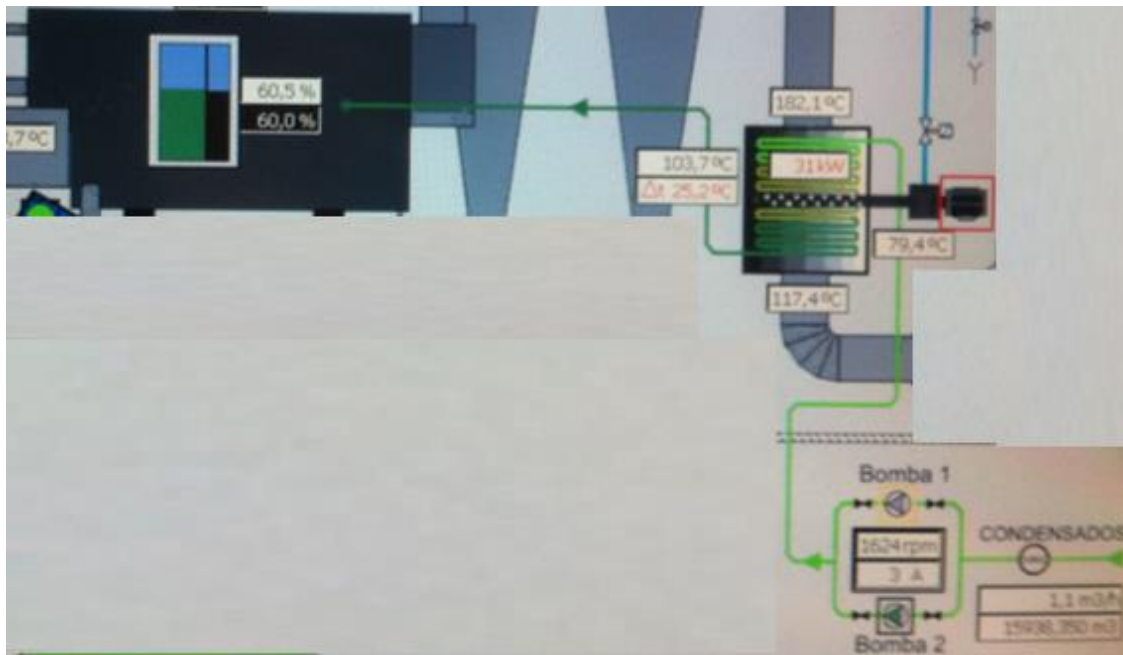


Figura 115 – Monitorização do sistema de alimentação de água.

11.4 Sistemas de segurança

Estão colocados sensores em todos os equipamentos para uma melhor garantia de funcionamento dos mesmos para não ficarem situações em críticas, havendo sinais sonoros se tal se verificar.

CONCLUSÕES

12.1 CIRCUITO DOS FUMOS DA QUEIMA

12.2 CIRCUITO DE ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO E AQUECIMENTO DA
ÁGUA

12.3 CIRCUITO DE VAPOR

12 CONCLUSÕES

Ao longo deste texto foram sendo descritos vários equipamentos que fazem parte de uma instalação de geração de vapor, sendo o leitor capaz de identificar os equipamentos, suas funções e a que circuitos pertencem, a quando de uma visita a uma casa de caldeiras.

Depois de se ler deve-se ser capaz de identificar os diversos circuitos num sistema de produção de vapor.

12.1 Circuito dos fumos da queima

Como se pode verificar no fluxograma da fig.116 (anexo A), onde é demonstrado de forma esquemática o circuito que os fumos fazem desde a ante-fornalha , caldeira, ciclone, economizador, ventilador e chaminé por onde é feita a sua expulsão para a atmosfera.

Os péletes são queimados na base da ante-fornalha (A) e os fumos produzidos pela sua combustão sobem passando pela virola de ligação ao gerador de vapor (B). No gerador os fumos fazem 3 passagem, uma na fornalha e duas nos tubos, fazendo assim o aquecimento da água até ao seu ponto de saturação. Os fumos saem da caldeira pela traseira passando para o equipamento de tratamento de gases de saída, ciclone (C), onde as partículas de grande e média dimensão são projetadas contra as paredes do ciclone e assim separadas do gás, ficando assim mais limpo. Sendo depois encaminhado para um equipamento que vai fazer uma recuperação térmica, economizador (D), por onde passam por uma serie de tubos alhetados, que no seu interior circula água em contracorrente em relação aos fumos, fazendo o seu aquecimento. No final através de um ventilador de extração (E), que faz a expulsão dos fumos enviando-os para a chaminé (F) fazendo a sua dispersão para a atmosfera.

12.2 Circuito de água de alimentação e aquecimento da água

Como se pode verificar no fluxograma da fig. 117 (anexo A), onde é demonstrado de forma esquemática o circuito da água de alimentação da caldeira, através do tanque de condensados passando pelo economizador, bem como é feito o seu aquecimento, através da circulação da água entre a ante-fornalha e caldeira.

A água que vai alimentar a caldeira está alojada num tanque de água e condensados (A). Ele vai ser abastecido pelos condensados que são produzidos pelas linhas de vapor. Estando também ligado à rede pública para quando o seu nível estiver baixo fazer o seu enchimento de água tratada

Através de o auxílio de bombas, a água é obrigada a fazer a circulação dentro de tubos que depois de sair do tanque passa para um equipamento de recuperação térmica, economizador (B). Aí a água vai ser aquecida pelos fumos que passam em contra corrente pela parte exterior dos tubos. Fazendo em seguida a alimentação da caldeira. A água já vai com uma temperatura elevada, de modo a que menos calor seja necessário para levar a água a uma temperatura suficientemente alta para produzir vapor.

Outro circuito que é demonstrado é o aquecimento da água feito entre a ante-fornalha e a caldeira. A água é aquecida de duas maneiras. Dentro da caldeira a água é aquecida pela passagem dos fumos nos tubos por ela contida. E é aquecida pela circulação feita de forma gravítica entre a caldeira (C) e a ante-fornalha (D). A água contida na caldeira desce por gravidade para a ante-fornalha. A ante-fornalha funciona como um gerador de vapor aquotubular, pois a sua constituição é feita com tubos por onde vai circular a água. A água vai ser aquecida através da queima dos péletes e dos seus fumos. À medida que vai sendo aquecida a água vai subindo pelos tubos passando depois para a caldeira através de um coletor superior de ligação entre os dois equipamentos. Esta circulação é continua produzindo assim vapor.

12.3 Circuito de vapor

Como se pode verificar no fluxograma fig. 118 (anexo A), onde é demonstrado de forma esquemática a circulação do vapor da caldeira (B) para o coletor de vapor (C). Como já foi referido o vapor é produzido pelo aquecimento da água, tanto na caldeira (B) como na ante-fornalha (A). Como se pode ver no fluxograma, na ante-fornalha existe um coletor superior de vaso seco, onde vai ser direcionado para a caldeira algum vapor produzido nela. Depois o vapor produzido por ambos vai circular por um tubo para um coletor de distribuição. Que por sua vez vai ter diversas saídas para alimentar diversas zonas de uma unidade fabril.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES
DE INFORMAÇÃO**

13 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- [1] Decreto-Lei 211/99 - <https://dre.tretas.org/dre/103188/> [Acedido a 30/03/2016].
- [2] Código de construção TRD – facultado pela empresa NORBIDEL.
- [3] Norma Europeia EN 12952-5 - <http://sanyosteel.com/files/EN/EN%2012952-5.pdf> [Acedido a 30/03/2016].
- [4] Despacho nº. 22 332/2001 (2ª. Série) de 30 de Outubro) - <http://www.spft.pt/comunicacao/legislacao/> [Acedido a 30/03/2016].
- [5] Norma Europeia EN ISO 15614-1 - <http://pooladan.com/download/ISO15614-1-text.POOLADAN.pdf> [Acedido a 4/4/2016].
- [6] Portaria nº 263/2005 de 17 Março - http://www.estg.ipg.pt/legislacao_ambiente/ficheiros/Port.%20263-2005.pdf [Acedido a 4/4/2016].
- [7] Decreto-Lei nº 78/2004 de 3 de Abril - <https://dre.pt/application/dir/pdf1sdip/2004/04/080A00/21362149.pdf> [Acedido a 4/4/2016].
- [8] http://www.ccdrc.pt/index.php?option=com_content&view=category&id=277&Itemid=184 [Acedido a 15/10/2015].
- [9] Portaria nº 80/2006 de 23 de Janeiro - <https://dre.pt/application/dir/pdf1sdip/2006/01/016B00/05130515.pdf> [Acedido a 4/4/2016].
- [10] Norma Europeia EN 13284-1- <http://www.s-t-a.org/Files%20Public%20Area/MCERTS-MIDs/MID13284-1%20particulate.pdf> [Acedido a 4/4/2016].
- [11] Agência Portuguesa do Ambiente - <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=82&sub2ref=314> [Acedido a 4/4/2016].
- [12] <http://energiasalternativas.webnode.com.pt/energias-renovaveis/biomassa/> [Acedido a 12/10/2015].
- [13] https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/28198/1/tese_Carla%20Barros_2013.pdf [Acedido a 12/10/2015].
- [14] https://prezi.com/k8jk39bcocb8/dimensionamento-de-ciclone-chamine-e-filtro-de-mangas/#_=_ [Acedido a 12/10/2015].
- [15] <http://www.lippel.com.br/br/sustentabilidade/silos-de-armazenagem-para-biomassa#.VjzCS7-2o2Y> [Acedido a 20/10/2015].
- [16] http://run.unl.pt/bitstream/10362/7693/1/Couto_2011.pdf [Acedido a 22/10/2015].
- [17] <http://www.avac.ind.br/transportesredler.aspx> [Acedido a 27/10/2015].
- [18] <http://www.vibramax.com.br/rosca-transportadora-helicoidal> [Acedido a 27/10/2015].

- [19] <http://www.jmsequipamentos.com.br/transportador-elevador-alimentador-em-z/> [Acedido a 27/10/2015].
- [20] <http://www.norbidel.com/> [Acedido a 27/10/2015].
- [21] <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAU4AAH/apostila-controle-poluicao-ar?part=3#> [Acedido a 06/11/2015].
- [22] <http://www.bremer.com.br/site/?pg=divisao&setor=4&texto=6> [Acedido a 07/11/2015].
- [23] <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395139478935/Desenvolvimento%20Tecnologico%20do%20Aproveitamento%20da%20Biomassa%20a%20Nivel%20Industrial.pdf> [Acedido a 12/11/2015].
- [24] <http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/5625-como-funciona-um-economizador-de-caldeira/> [Acedido a 14/11/2015].
- [25] <http://www.ebah.pt/content/ABAAAUy8AC/geracao-distribuicao-utilizacao-vapor#> [Acedido a 18/11/2015].
- [26] <http://www.ebah.pt/content/ABAAAe0VAAF/caldeiras-apostila> [Acedido a 21/11/2015].
- [27] <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59056/1/000137779.pdf> [Acedido a 22/11/2015].
- [28] Norma Europeia EN 10028-2 - <http://gangsteel.net/uploads/soft/120905/1-120Z5223U4.pdf>
- [29] <http://www.tlv.com/global/BR/steam-theory/condensate-recovery-piping.html> [Acedido a 27/11/2015].
- [30] http://estudomec.info/files/ST_Sebenta_v.04.pdf [Acedido a 25/11/2015]
- [31] <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/21721/1/Tese%20Vers%C3%A3o%20Final.pdf> [Acedido a 27/11/2015].
- [32] http://bdigital.ipg.pt/dspace/bitstream/10314/1663/1/Marlene%20Monteiro_Projeto.pdf [Acedido a 07/11/2015].
- [33] <http://livrozilla.com/doc/1296716/o-que-s%C3%A3o-péletes%3F-vantagens-dos-péletes> [Acedido a 28/11/2015].
- [34] http://pt.slideshare.net/Okutagawa/torre-caldeiratratamentoaguacaldeira?next_slideshow=2 [Acedido a 11/04/2016].
- [35] <http://docslide.com.br/documents/031-sanches-garcia-mauricio.html> [Acedido a 11/04/2016].
- [36] <http://opac.iefp.pt:8080/images/winlibimg.aspx?skey=&doc=7013&img=1062> [Acedido a 12/04/2016].
- [37] Juanico, Filipe José Mendes, Geradores de Calor, ECEMET, 1992.
- [38] Despacho n.º 17313/2008, de 26 de Junho 2008 - <http://www.ecopark.pt/portal/legislacao/energia/geral/despacho-17313-2008-26-junho-conversoes-energia/view> [Acedido a 12/04/2016]

ANEXOS

14.1 ANEXO A - FLUXOGRAMAS

14.2 ANEXO B - RELATÓRIOS DOS ENSAIOS

14.2.1 ENSAIO DE PRESSÃO.

14.2.2 ENSAIO DE ULTRASSONS.

14.2.3 ENSAIO DE MAGNETOSCOPIA.

14.2.4 ENSAIO DE RADIOGRAFIA.

14.3 ANEXO C – CÁLCULO DAS PARTES SOB PRESSÃO

14.3.1 CALDEIRA

14.3.2 ANTE-FORNALHA

14.3.3 ECONOMIZADOR

14.4 ANEXO D – MATERIAL DE CONSTRUÇÃO

14.4.1 ANTE-FORNALHA

14.4.2 CALDEIRA

14.4.3 ECONOMIZADOR

14 ANEXOS

14.1 Anexo A - Fluxogramas

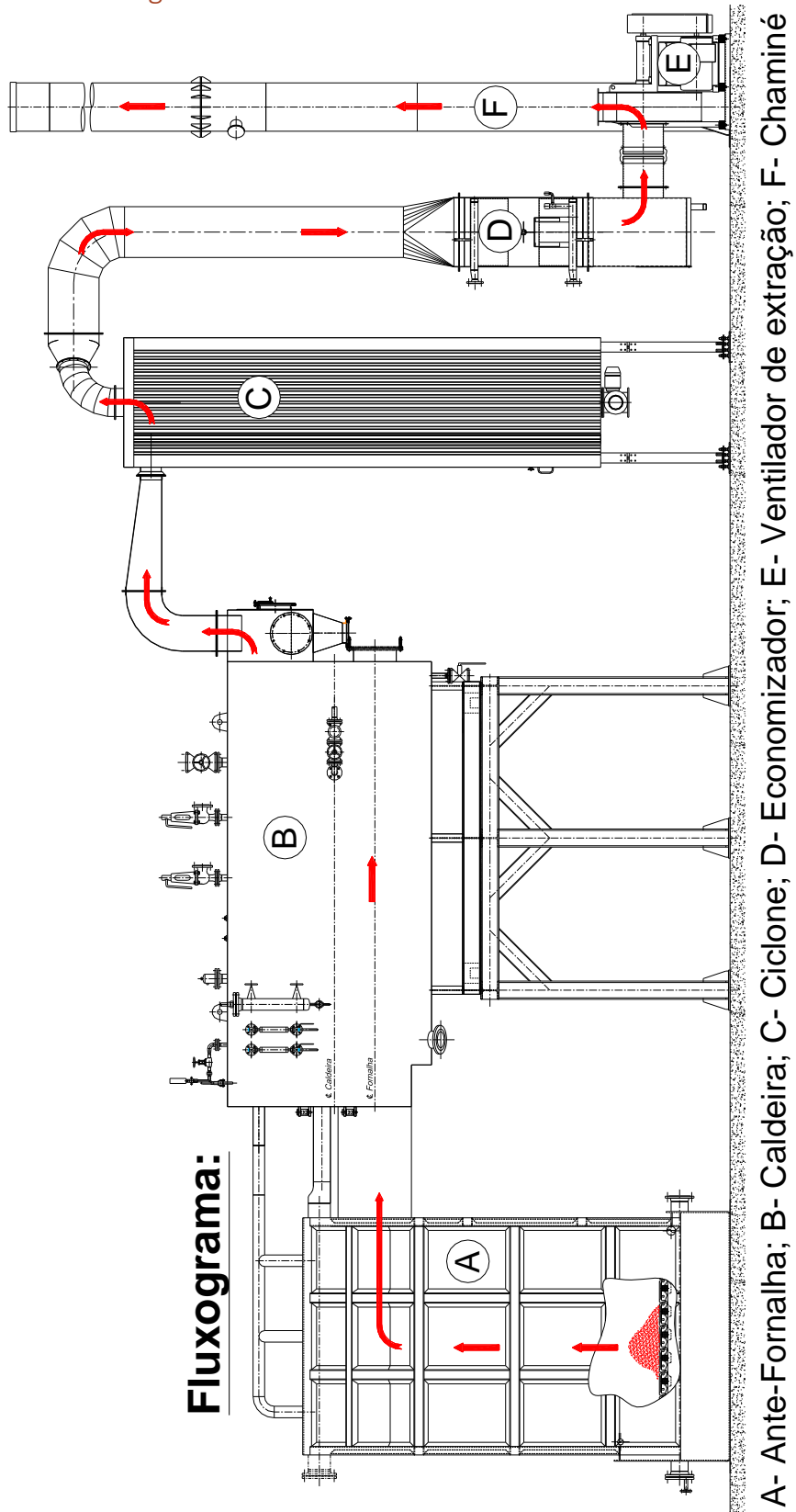


Figura 116 – Fluxograma dos fumos da queima.

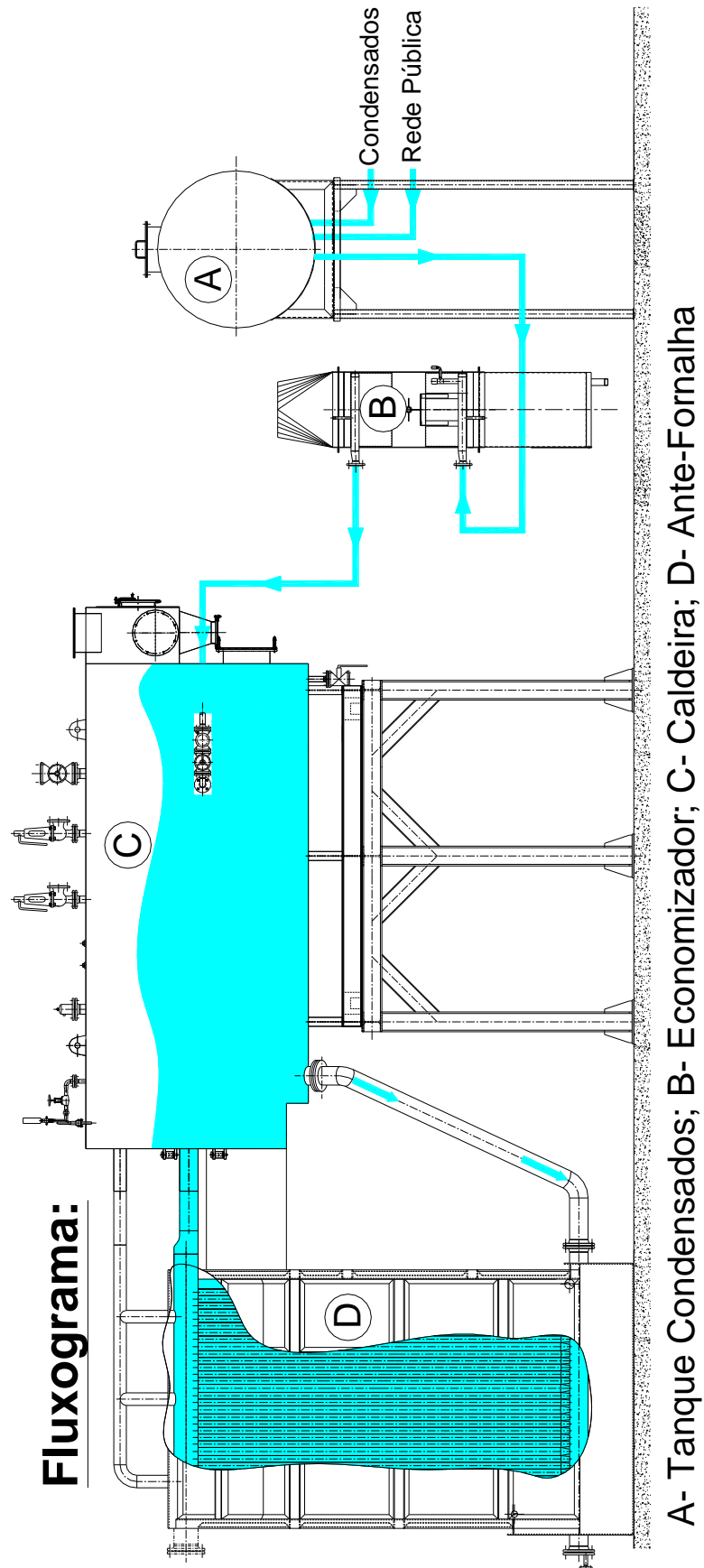
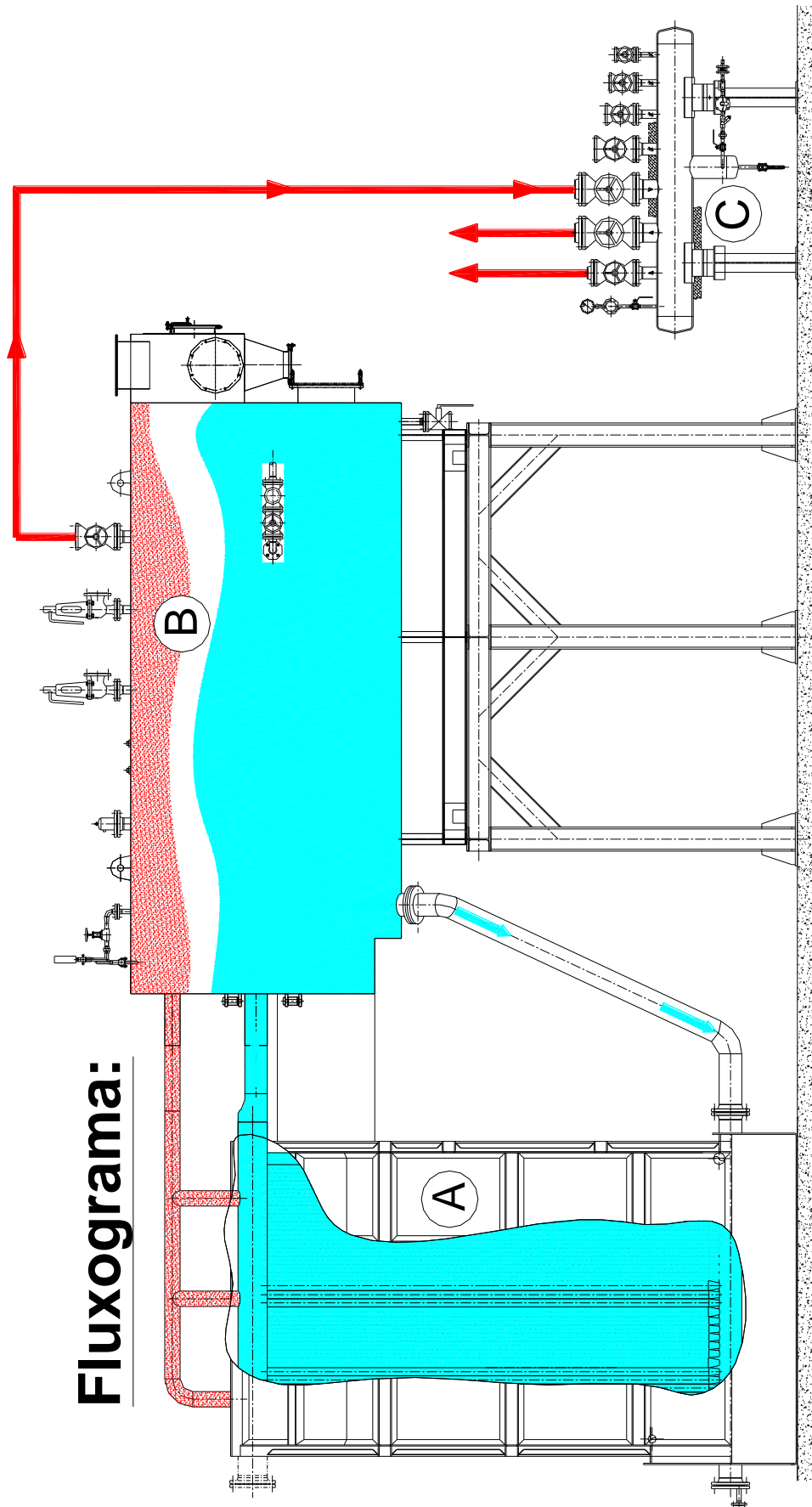


Figura 117 – Fluxograma da água de alimentação e circulação caldeira/ante-fornalha.

Fluxograma:



A- Ante-Fornalha; B- Caldeira; C- Coletor de Vapor





Figura 118 – Fluxograma do vapor.

14.2 Anexo B - Relatórios dos ensaios

Neste anexo são mostrados alguns relatórios emitidos dos ensaios e testes efetuados aos equipamentos sob pressão.

14.2.1 Ensaio de pressão.

14.2.1.1 Relatório de ensaio de pressão e inspeção visual.

		RELATÓRIO DE ENSAIO DE PRESSÃO E INSPECÇÃO VISUAL PRESSURE TEST REPORT AND VISUAL INSPECTION			
ENCOMENDA: JOB:	6,2527	DESIGNAÇÃO SUBJECT		DOC. Nº: DOC. Nr:	6,2527-005
REF. NORBIDEL: REF. NORBIDEL:	Monobloco NB B6000	GERADOR VAPOR NB B6000 CORPO DE PRESSÃO		FABRICO: WORK-SHOP	M. EXT. ASSEMBLY
REF. CLIENTE: REF. CUSTOMER:				6,2527	
DOC. REF.: REF. STANDARD:	TRD	DOC. ACEITAÇÃO: ACCEPTANCE STANDARD:	TRD	PROJECTO Nº: PROJECT NR:	15/14-NB
Nº DE SÉRIE: SERIAL NUMBER:	6,2527	PRESSÃO MÁX. ADMISSÍVEL (bar g) MAXIMUM ALLOWABLE PRESSURE	10	FLUÍDO: FLUID:	Água
PRESSÃO DE ENSAIO (bar g) : PRESSURE TEST:	17,5	TEMPO DE PATAMAR (min.): HOLDING TIME:	30	TEMP (°C) TEMP. (°C):	20
MARCA MANÓMETRO : GAUGE MARKS:	WIKA	Nº SÉRIE MANÓMETRO : SERIAL NUMBER:		N-INS-062 1105424307	
RESULTADOS: RESULTS:					
<p>Durante o ensaio de pressão o equipamento não revelou sinais de deformação ou exsudações.</p> <p>During the pressure test the equipment showed no signs of deformation or leakage</p>					
					
Local ensaio: Test location:	Norbidel-Sociedade de Representações,Lda. 4475-132 Gemunde - Maia		Data do ensaio: Date of test:	26/08/2015	
Executado Issued by		Org. Notificado: Checked		Folha nº Sheet	
Data Date	26/08/15	Data Date	26/08/15	1 de 1	

14.2.1.2 Certificado de calibração do manómetro




 23.07.2015
 ACBETE

Certificado de Calibração

LaborMet - LABORATÓRIO DE METROLOGIA

Data: 2015-07-16

Certificado n.º: LMP20155007393/10

Página 1 de 2

CLIENTE:

BUREAU VERITAS RINAVE - SOCIEDADE UNIPessoal, LDA
 RUA 28 DE JANEIRO Nº 350 EDIF. B FRACÇÃO 23 - CANDAL
 4400-335 V.N.GAIA

DESCRIÇÃO:

Equipamento: Manómetro analógico	Intervalo de indicação: 0 a 40 bar
Marca: MEI	Divisão: 0.5 bar
Modelo: ---	Resolução: 0.1 bar
Número de Série: ---	Classe: 0.5
Referência Interna: N-INS-091	

PRINCIPAL EQUIPAMENTO UTILIZADO:

Padrão	CATIM Nº	Rastreabilidade
Calibrador RUSKA 7215 xi	01.51492	CEM

OPERAÇÕES EFECTUADAS:

Calibração segundo a norma NP EN 837-1:2003.

Foram efectuadas três séries de medição no sentido crescente e decrescente de pressão. Os valores apresentados na tabela de resultados correspondem à média de todas as leituras. O erro do equipamento é calculado pela diferença entre a pressão do equipamento e a pressão de referência (Erro = P equipamento - P padrão).

Pressão gerada com Azoto. Todas as medições foram efectuadas em ambiente controlado a $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ e $50\% \pm 10\%$ de humidade relativa, nas instalações do Porto.

EXAME VISUAL:

O equipamento encontra-se em bom estado.

A incerteza expandida apresentada, está expressa pela incerteza-padrão multiplicada pelo factor $k=k'$, o qual para uma distribuição-t com $\nu_{ef}=\nu_{ef}$ graus de liberdade efectivos corresponde a uma probabilidade de expansão de aproximadamente 95%. A incerteza foi calculada de acordo com o documento EA-4/02

O IPAC é um dos signatários do Acordo de reconhecimento mútuo da EA e do ILAC para calibrações.

Data da calibração: 2015-07-16

Técnico

Sandra Pereira

Responsável Técnico

Pedro Castro



- Certificado de calibração do manómetro.



Amunias
27.07.2014
ACEITE

Certificado de Calibração

LaborMet - LABORATÓRIO DE METROLOGIA

Data: 2015-07-16

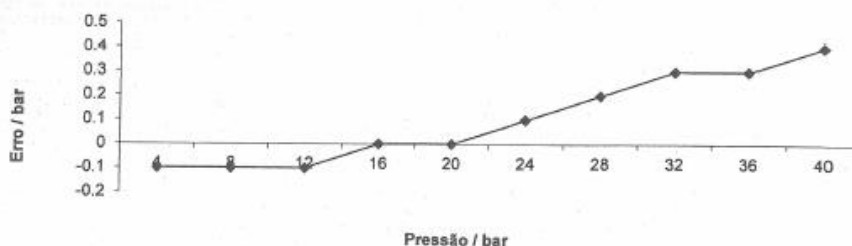
Certificado n.º: LMP20155007393/10

Página 2 de 2

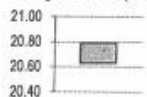
RESULTADOS:

Equipamento bar	Erro bar	k'	V'_{ef}	Incerteza Expandida bar	Erro % F.E.
4.0	-0.1	2.07	39	± 0.079	-0.3
8.0	-0.1	2.07	39	± 0.092	-0.3
12.0	-0.1	2.05	51	± 0.11	-0.3
16.0	0.0	2.05	51	± 0.089	0.0
20.0	0.0	2.05	48	± 0.091	0.0
24.0	0.1	2.05	51	± 0.061	0.3
28.0	0.2	2.05	48	± 0.093	0.5
32.0	0.3	2.52	6	± 0.15	0.8
36.0	0.3	2.07	35	± 0.090	0.8
40.0	0.4	2.06	46	± 0.099	1.0

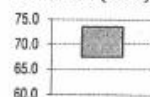
Erro máximo de histerese: 0.1 bar

**CONDIÇÕES AMBIENTAIS:**

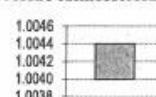
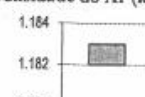
Temperatura (°C)



Humidade (%hr)



Pressão Atmosférica (bar)

Densidade do Ar (kg.m⁻³)**OBSERVAÇÕES:**

O equipamento foi calibrado com o mostrador na vertical.


É considerada a tomada de pressão como a referência do equipamento.

A unidade de pressão de acordo com o sistema internacional de unidades (SI) é o Pascal (1 bar = 100 000 Pa).

Amunias

14.2.1.3 Registo de acompanhamento de inspeção de construção.

Mod. QS-3-092.a



BUREAU VERITAS RINA VE, ACE – RELATÓRIO TÉCNICO
Registos de Acompanhamento de Inspeção de Construção

CONTRATO:
 CLIENTE: *Noebidel*


RELATÓRIO:
 LOCAL:
 DATA:

Página: 1 / 3

Dados Gerais do Fabricante (F) do Equipamento			
F: _____		Local: _____	
Tipo de Equipamento: <i>Caldreia</i>		Descrição: <i>Tubo rama / Pinotubular</i>	
Utilização: <i>Finalidade Vapores</i>		Desenho: <i>NL43-040-B-3008</i>	Revisão: <i>A</i>
Código / Norma: <i>TRD</i>		Especificação: _____	
Nº Fabrico / Obra: _____		Nº Série: _____	
Marcação: <i>CE (B+F)</i>		Ano Fabrico: <i>2015</i>	
Listã da Documentação Técnica de Suporte		Referência: _____	Revisão: _____
Outros Documentos de Suporte		Referência: _____	Revisão: _____
Dados de Projecto	Corpo	Feixe Tubular	Conjunto
Pressão (Min/Máx) Admissível PS (bar)	<i>10</i>		_____
Temperatura (Min/Máx) Admissível TS (°C)	<i>20 / 123,2</i>		_____
Volume Serviço (Litros)/Diâmetro Nominal (mm)	<i>16130</i>		_____
Fluido:	<i>H₂O</i>		_____
Densidade:	<i>Kg/m³</i>	<i>≈ 1000</i>	_____
Nível Máximo (mm)	_____		_____
Registo de Acções de Inspeção de Construção Realizadas			
Descrição da Actividade de Inspeção	Verificado (Registo / Evidência)	Aceite / Não Aceite / Observação	
Análise e Aprovação Documental	<i>RVA já aprovado</i>	<i>Aceite</i>	
Qualificação de Soldadores/Operadores	_____	_____	
Qualificação Processos Soldadura	_____	_____	
Qualificação Operadores END	_____	_____	
Materiais de Base e Certificados	_____	_____	
Materiais de Adição e Certificados	_____	_____	
Rastreabilidade de Material no F	<i>Em anexo</i>	<i>Aceite</i>	
Inspeção de Fabrico / Reparação	_____	_____	
Tratamentos Térmicos	<i>N.A.</i>	<i>N.A.</i>	
Ensaio Não Destrutivos / Destrutivos	_____	_____	
Inspeção Visual Final	_____	_____	
Controlo Dimensional	_____	_____	
Verificação de Acessórios de Segurança	_____	_____	
Desvios de Qualidade / Concessões	_____	_____	
Local de Emissão	Data de Emissão	Inspector	
_____	_____	<i>[Signature]</i>	

- Registo de acompanhamento de inspeção de construção.

Mod. QS-3-092.a



BUREAU VERITAS
RINA VE

BUREAU VERITAS RINA VE, ACE – RELATÓRIO TÉCNICO
Registos de Acompanhamento de Inspeção de Construção

CONTRATO:
CLIENTE: *Norbidel*

RELATÓRIO:
LOCAL:
DATA:

Página: 2 / 3

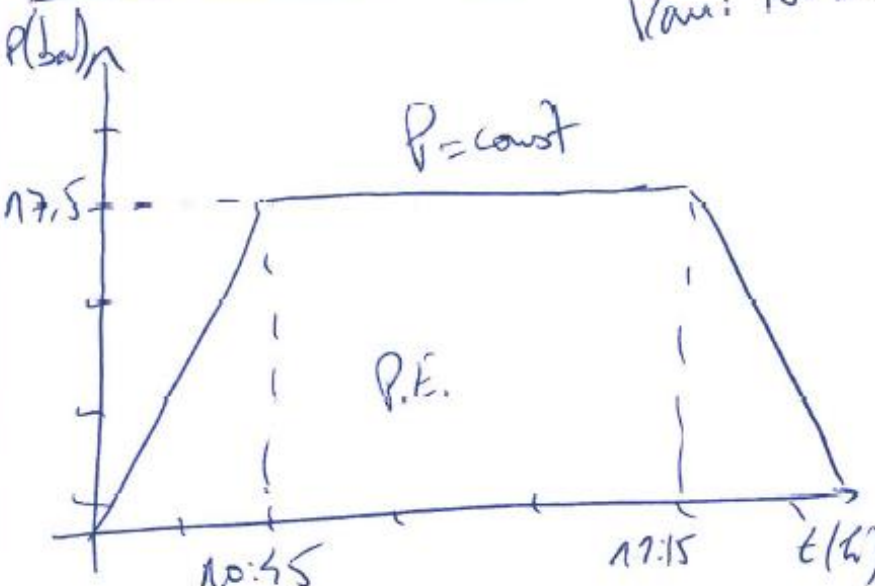
Ensaio Pressão / Vácuo	Corpo	Feixe Tubular	Conjunto
Pressão de Ensaio (bar)			<i>17,5</i>
Fluido			<i>H₂O</i>
Temperatura (°C)			<i>Amb. ≈ 20°C</i>
Tempo de Patamar			<i>30 min</i>
Certificado de Calibração			<i>LMP2015002682/10</i>

N/E – Não efectuado, N/A – Não Aplicável, HOLD – Em espera

Conclusão Final:

Ensaio hidrúlico.

Par: N-INS-062



P.S. Parças das virulas e espelhos posteriores.

Alguns reparações de soldadura já foram feitas de forma não adequada no interior da fornalha e

SALPICOS e Ginchamentos

Local de Emissão

Data de Emissão

Inspector

Soil

- Registo de acompanhamento de inspeção de construção.



Mod. QS-3-092.a

BUREAU VERITAS RINA VE, ACE – RELATÓRIO TÉCNICO
Registos de Acompanhamento de Inspeção de **Construção**

CONTRATO:
CLIENTE: *Norbidel*

RELATÓRIO:
LOCAL:
DATA:

Página: 3 / 3

Readebilidade:

Plangos: T5 } DIN 2633
PN 16
DN 25
C 22.8
74103

T2 } DIN 2633
PN 16
DN 80
C 22.8
2637

T4 } DIN 2633
(X2) } PN 16
T4 } DN 65
C 22.8
2643

T1 } DIN 2633
PN 16
DN 25
C 22.8
2643

NORBIDEL
CONTROLO DE QUALIDADE
João Silva

Outros Anexos:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Distribuição: BV RINA VE	<input type="checkbox"/> Cliente	<input type="checkbox"/> F	<input type="checkbox"/> Outro
Local de Emissão	Data de Emissão	Inspector <i>[Signature]</i>	

14.2.2 Ensaio de ultrassons.

14.2.2.1 Relatório de ensaio de ultrassons - soldaduras.



RELATÓRIO DE ENSAIO DE ULTRASSONS - SOLDADURAS

Ultrasonic Test Report - Welded Joints



CLIENTE E MORADA Client & Address Norbidel, Lda Zona Ind. da Maia 1 Sector VIII-Lote 10, n°108 4475-132 Maia FABRICANTE Manufacturer Norbidel, Lda OBRA Job 6.2527 - Caldeira NB B6000 - Corpo de Pressão	RELATÓRIO N° Report Nr 15.P.09628
	PÁGINA Page 1 DE Of 2
	CONTRATO N° Job Nr. 8357619
	LOCAL DE ENSAIO Test Location Maia
	DATA DO ENSAIO Date of Test 2015-08-21

1. CONDIÇÕES TÉCNICAS E OPERATÓRIAS Technical and Operational Conditions

DOCUMENTO REFERÊNCIA / CATEGORIA ENSAIO Reference Standard / Testing Class EN ISO 17640:2010 - Técnica 1 - Nivel B		CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO Acceptance Criteria EN ISO 11666:2010 - Level 2		
MATERIAL BASE Parent Material AÇO CARBONO	MATERIAL DE ADIÇÃO Weld Material AÇO CARBONO	PROC. SOLDADURA Welding Process 111	TIPO DE JUNTA Joint Type V	ESPESSURA (mm) Thickness (mm) 16
FASE PRODUÇÃO Production Stage <input checked="" type="checkbox"/> Pré-fabrico Pre-fabric <input type="checkbox"/> Antes TT Before TT <input type="checkbox"/> Depois TT After TT <input type="checkbox"/> Em serviço In Service	DIMENSÃO DA PEÇA Specimen Dimension <input checked="" type="checkbox"/> Des. Anexo Attach. Dwg. <input type="checkbox"/> Outro Doc. Other Doc.	EQUIPAMENTO Equipment T-2ND-103	ESTADO SUPERFÍCIE Surface Finish NORMAL	SENSIBILIDADE Sensibility <input checked="" type="checkbox"/> DAC <input type="checkbox"/> AVG <input type="checkbox"/> F-Meter
CORREÇÃO TRANSFER. Transfer Correction 6 dB [dB]		SONDAS Probes TIPO Type MBSE 4 FREQ. Frequency [MHz] 4 MHz ESC. TEMPOS Time Base Range [mm] 0-100 GANHO REF. Ref. Gain [dB] 48 dB	BLOCOS Blocks CALIBRAÇÃO Calibration BC068	REFERÊNCIA Reference BC060 Espessura Thickness 25 mm Dia. Furo Hole Diameter 3 mm
NÍVEL DE REGISTO Reporting Level -4 dB R.L. [%]	MWB-60-4 4 MHz 0-100 53 dB	ESQUEMA DA JUNTA Joint Configuration		
ACOPLANTE Couplant Medium COLA CELULÓSICA	MWB-45-4 4 MHz 0-100 51 dB	TEMP. DE ENSAIO Test Temperature <input checked="" type="checkbox"/> Amb. Amb. (0 °C a +40 °C) <input type="checkbox"/> Outra Other (<0 °C; > +40 °C)		
POSIÇÃO DA SONDA Probe Position Scans <input checked="" type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> G <input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/> W <input checked="" type="checkbox"/> X <input checked="" type="checkbox"/> Y <input type="checkbox"/> Z				

2. EXTENSÃO DO ENSAIO Test Extension

100% da soldadura das virolas numa extensão de 500mm para cada lado dos cruzamentos.

3. RESULTADOS Results

Não foram detectadas quaisquer indicações fora dos limites de aceitação.



4. OBSERVAÇÕES Remarks

LOCAL E DATA DE EMISSÃO Place & Issue Date V.N.Gaia, 2015-09-07	OPERADOR(ES) E CERTIFICAÇÃO Operator(s) & Certification P. OLIVEIRA EN ISO 9712 - Level 2	ELABORADO POR Prepared by P. OLIVEIRA	VALIDAÇÃO Validation P. OLIVEIRA (RESP. LOCAL)
--	---	--	--

Copyright BUREAU VERITAS RINA VE - 12/2013

 DELEGAÇÃO SUL
 Polo Tecnológico de Lisboa, Lote 21
 1000-980 Lisboa

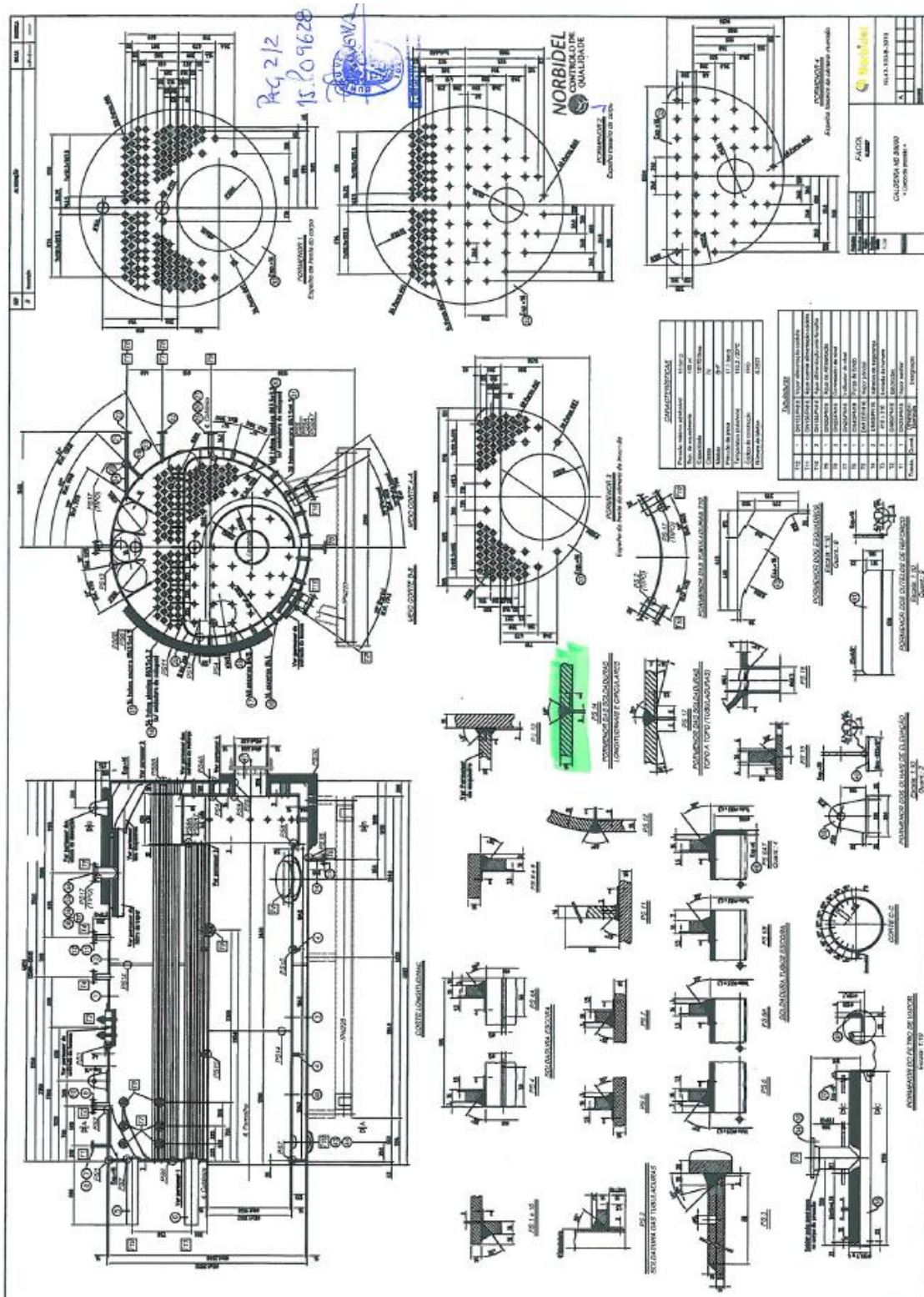
 DELEGAÇÃO NORTE
 Rua 25 Janeiro, n° 350
 Carvalh
 4400-335 VILA NOVA DE GAIA

 DELEGAÇÃO SINES
 Edifício ZILS - Monte Fco
 SAIA 127, 12/B e 13/D
 7520-094 SINES

 Nota: Não é permitida a reprodução parcial deste relatório
 Este relatório diz respeito apenas aos itens ensaiados




 Note: It is forbidden a partial reproduction of this report
 This report only concerns the identified tested item

- Identificação das soldaduras ensaiadas.



14.2.3 Ensaio de magnetoscopia.

14.2.3.1 Relatório de ensaio de magnetoscopia.

 RELATÓRIO DE ENSAIO DE MAGNETOSCOPIA Magnetic Particle Test Report		Mod. QS-1-002.8  L0049 Ensaios	
CLIENTE E MORADA Client & Address Norbidel, Lda Zona Ind. da Maia 1 Sector VIII-Lote 10, n°108 4475-132 Maia		RELATÓRIO Nº Report Nr 15.P.09627	
FABRICANTE Manufacturer Norbidel, Lda		PÁGINA Page 1 DE Of 2	
OBRA Job 6.2527 - Caldeira NB B6000 - Corpo de Pressão		CONTRATO Nº Job Nr. 8357619	
		LOCAL DE ENSAIO Test Location Maia	
		DATA DO ENSAIO Date of Test 2015-08-21	
1. CONDIÇÕES TÉCNICAS E OPERATÓRIAS Technical and Operational Conditions			
DOCUMENTO REFERÊNCIA / CATEGORIA ENSAIO Reference Standard / Testing Class EN ISO 17638:2009		CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO Acceptance Criteria EN ISO 23278:2009 - Level 2	
PROCESSO DE FABRICO Fabrication Process <input checked="" type="checkbox"/> Soldadura Weld <input type="checkbox"/> Fundição cast <input type="checkbox"/> Outro Other	FASE PRODUÇÃO Production Stage <input checked="" type="checkbox"/> Pré-fabrico Pre-fabric <input type="checkbox"/> Antes TT Before TT <input type="checkbox"/> Depois TT After TT <input type="checkbox"/> Em serviço In Service	DIMENSÃO DA PEÇA Specimen Dimension <input checked="" type="checkbox"/> Des. Anexo Attach. Drw. <input type="checkbox"/> Outro Doc. Other Doc.	MATERIAL BASE Parent Material Aço Carbono
TIPO DE MAGNETIZAÇÃO Type of Magnetization <input checked="" type="checkbox"/> Yoke Yoke S = 150 mm <input type="checkbox"/> Bobina Coil S = mm Lef = <input type="checkbox"/> Outro Other		TIPO DE CORRENTE Type of Current <input checked="" type="checkbox"/> AC AC <input type="checkbox"/> CC DC <input type="checkbox"/> Permanente Permanent	MATERIAL DE ADIÇÃO Weld Material Aço Carbono
MEIO DE DETEÇÃO Detecting Medium <input checked="" type="checkbox"/> Húmido Wet <input type="checkbox"/> Fluorescente Fluorescent <input type="checkbox"/> Seco Dry <input checked="" type="checkbox"/> Não Fluorescente Not Fluorescent		COND. VISUALIZAÇÃO Viewing Conditions <input checked="" type="checkbox"/> Luz Natural ou Branca Natural or White Light (>1000 lx) <input type="checkbox"/> Câmara Escura Dark Room (< 20 lx)	ESTADO SUPERFÍCIE Surface Finish Normal
INDICADOR DE CAMPO Filed Indicator ASME DESMAGNETIZAÇÃO Demagnetizing N/A		TIPO DE JUNTA Joint Type Várias	
TEMP. DE ENSAIO Test Temperature <input checked="" type="checkbox"/> Amb. Amb. (+5 °C a + 50 °C) <input type="checkbox"/> Outra Other (<+5 °C; >+ 50 °C)		EQUIPAMENTO TESTE Test Equipment <input checked="" type="checkbox"/> N-END-093 <input type="checkbox"/> Auxiliar	
PART MAGNÉTICAS Magnetic Particles NEGRAS - MR 76	APLICAÇÃO Application Method Spray	LOTE PART. MAGN. Magnetic Particle Batch 76S/1122A	TINTA CONTR. Contrast Paint BRANCA - MR7
		APLICAÇÃO Application Method Spray	LOTE TINTA CONTR. Contrast Paint Batch 72/1150A
2. EXTENSÃO DO ENSAIO Test Extension - 100% das soldaduras assinaladas no desenho anexo (NL43-040-B-3010-Rev.A); * Cruzamentos de soldadura circunferencial/longitudinal (500mm para cada lado); * Soldadura dos tubos de escora; * Soldadura das escoras; * Soldadura das tubuladuras ao corpo de pressão; * Soldaduras dos espelhos à virola.			
3. RESULTADOS Results Não foram detectadas quaisquer indicações fora dos limites definidos no código de aceitação.			
			
4. OBSERVAÇÕES Remarks			

LOCAL E DATA DE EMISSÃO Place & Issue Date V.N.Gaia, 2015-0-07	OPERADOR(ES) E CERTIFICAÇÃO Operator(s) & Certification P.Oliveira EN 473 - Nivel 2	ELABORADO POR Prepared by P.Oliveira	VALIDAÇÃO Validation P.Oliveira (Resp. Local)

Copyright BUREAU VERITAS RINA VE - 12/2013

 DELEGAÇÃO SUL
 Polo Tecnológico de Lisboa, Lote 21
 1600-485 Lisboa

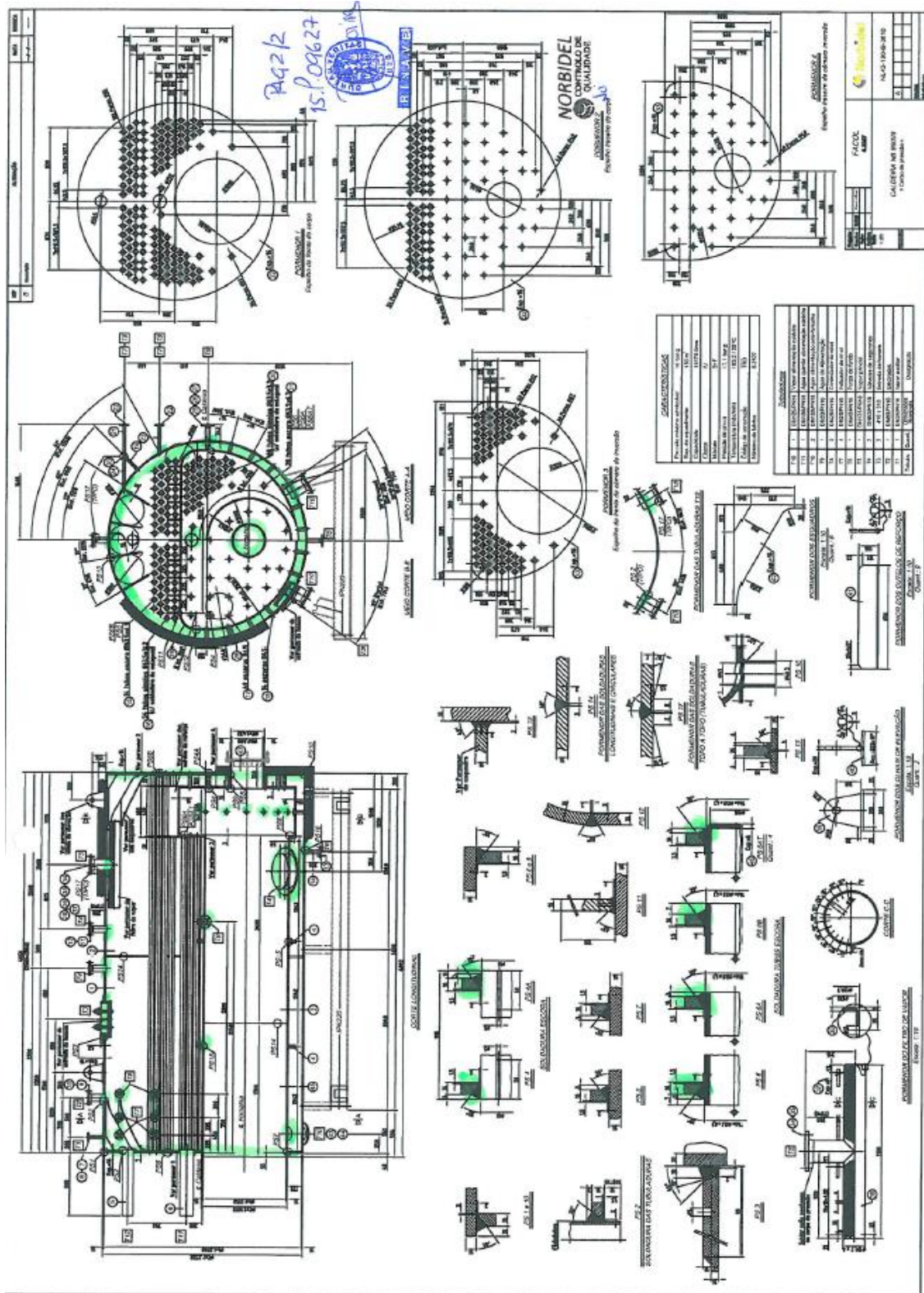
 DELEGAÇÃO NORTE
 Rua 28 Janeiro, nº 350
 Candal
 4400-335 VILA NOVA DE GAIA

 DELEGAÇÃO SINES
 Edifício ZILS - Monte Feio
 Salas 027, 028 e 030
 7520-004 SINES

 Nota: Não é permitida a reprodução parcial deste relatório
 Este relatório diz respeito apenas aos itens ensaiados

 Note: It is forbidden a partial reproduction of this report
 This report only concerns the identified tested item

- Identificação das soldaduras ensaiadas.



14.2.4 Ensaio de radiografia.

14.2.4.1 Relatório de ensaio de radiografia.



RELATÓRIO DE ENSAIO DE RADIOGRAFIA

Radiographic Test Report



CLIENTE E MORADA Customer & Address NORBIDEL, LDA. Zona Industrial da Maia 1 Sector VIII-Lote 10, N°108 4475-132 Maia FABRICANTE Manufacturer NORBIDEL, LDA. OBRA Job N° Fabrico 6.2465/1	RELATÓRIO N° Report Nr 14.P.04307
	PÁGINA Page 1 DE 2
	CONTRATO N° Job Nr. 8357619
	LOCAL DE ENSAIO Test Location Maia
	DATA DO ENSAIO Date of Test 2014-05-12

1. CONDIÇÕES TÉCNICAS E OPERATÓRIAS Technical and Operational Conditions

DOCUMENTO REFERÊNCIA / CATEGORIA ENSAIO Reference Standard / Testing Class NP EN 1435:2000 (A1:2008 Ed. 1)		CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO Acceptance Criteria EN 12517:2006 - Level 2		
PROCESSO DE FABRICO Fabrication Process <input checked="" type="checkbox"/> Soldadura Weld 141 <input type="checkbox"/> Fundição Cast <input type="checkbox"/> Outro Other	FASE PRODUÇÃO Production Stage <input checked="" type="checkbox"/> Pré-fabrico Pre-fabric <input type="checkbox"/> Antes TT Before TT <input type="checkbox"/> Depois TT After TT <input type="checkbox"/> Em serviço In Service	DIMENSÃO DA PEÇA Specimen Dimension <input checked="" type="checkbox"/> Des. Anexo Attach. Dwg. <input type="checkbox"/> Outro Doc. Other Doc.	MATERIAL BASE Parent Material AÇO CARBONO GAMA ESPESSURAS Thickness Range 7,1 mm	ESTADO SUPERFÍCIE Surface Finish Normal TIPO DE JUNTA Joint Type V
EQUIPAMENTO / ACTIVIDADE Equipment / Activity <input type="checkbox"/> Rolo-X X-Ray [KV] [mA] <input checked="" type="checkbox"/> Ir 192 023 3,5 [Ci] <input type="checkbox"/> Se 75 [Ci]		DIM. FOCO/FONTE Focal Spot Dimension 2x2 IQI 10 Fe EN <input checked="" type="checkbox"/> F	DENSIDADE EXIGIDA Required Film Density 2-4 ECRAS Screens Pb	TIPO DE PELÍCULA Film Type AA400 Filtros Filters --
PLANO RADIOGRÁFICO Film Position Test Plan <input checked="" type="checkbox"/> Anexo Annex <input type="checkbox"/> Responsabilidade do Cliente Client Responsibility		PROCESSAMENTO DO FILME Film Processing <input type="checkbox"/> Manual Manual <input checked="" type="checkbox"/> Automático Automatic		
TÉCNICA Technique 				

 FILMES ENVIADOS AO CLIENTE
 FILMS SENT TO CLIENT

ISO 6520 IIW	Descontinuidades Planares	Planar Discontinuities	ISO 6520 IIW	Descontinuidades Geométricas	Geometric Discontinuities
100	E Fissura	Cracks	500	Cordão soldadura imperfeito	Imperfect weld
101	Ea Fissura longitudinal	Long. crack	5011	Bordos queimados / sulcos	Undercuts
102	Eb Fissura transversal	Transv. crack	5012	Sulcos superficiais	Incomplete filled groove
104	Ec Fissura de cratera	Crater crack	5013	Fb Sulcos na raiz	Root concavities
401	C Falta de fusão	Lack of fusion	502	Fc Excesso enchimento	Excess weld material
4012	Ca Falta de fusão entre passes	Inter-run lack of fusion	504	Fd Excesso de penetração	Excess penetration
4013	Cb Falta de fusão na raiz	Lack of root fusion	507	De Falta alinhamento do cordão	Misalignment
402	D Falta de penetração	Lack of Penetration	515	Fa Abatimento na raiz	Burn through
			517	Be Recomeço imperfeito	Poor restart
Inclusões Gasosas Gas Inclusions			Outros Others		
200	A Inclusões gasosas	Gas inclusions	500	Z Outras imperfeições	Miscellaneous imperfections
2011	Aa Poros esféricos	Spherical	502	L Salpicos de soldadura	Spatter
2015	Ab Poros vermiformes	Whorm holes	504	Bd Defeitos de rotagem	Grind marks
2013	Ac Ninho de poros	Clustered porosity	505	Defeitos de ferramenta	Tool marks
2024	K Cratera	Crater			
Inclusões Sólidas Solid Inclusions			Fundição Castings		
300	B Inclusão sólida	Solid inclusion	A	Inclusões gasosas	Gas porosity
301	Ba Inclusão de escória	Slag inclusion	B	Inclusões de areia e escória	Sand and Slag inclusions
302	Bb Escória alinhada	Aligned slag inclusion	C	Defeitos de contração	Shrinkage
302	G Inclusão de fluxo	Flux inclusion	CA	"Rechup" - Tipo 1	Shrinkage - Type 1
303	J Inclusões de óxidos	Oxide inclusion	CB	"Rechup" - Tipo 2	Shrinkage - Type 2
304	H Inclusões metálicas	Metallic inclusion	CC	"Rechup" - Tipo 3	Shrinkage - Type 3
3041	T Inclusões tungsténio	Tungsten inclusion	CD	"Rechup" - Tipo 4	Shrinkage - Type 4
			D	Fissuração	Cracks
			E	Fissuração e Quente	Hot tears
			F	Inserções	Inserts
			G	Rugosidade Superficial	Mottling

LOCAL E DATA DE EMISSÃO Place & Issue Date V.N.Gaia, 2014-05-15	OPERADOR(ES) E CERTIFICAÇÃO Operator(s) & Certification A. Moreira (Rad) + C. Vaz (In)	ELABORADO POR Prepared by S. Sousa	VALIDAÇÃO Validation Pedro Oliveira (Resp. Local)
--	---	---	---

Copyright BUREAU VERITAS RINA VE - 12/2013

 DELEGAÇÃO SUL
 Polo Tecnológico de Lisboa, Lote 21
 1600-465 Lisboa

 DELEGAÇÃO NORTE
 Rua 28 Janeiro, nº 350
 Canelas

 DELEGAÇÃO SINES
 Edifício ZILS - Monte Faio
 Selas 627, 628 e 630

 Nota: Não é permitida a reprodução parcial deste relatório
 Este relatório diz respeito apenas aos itens ensaiados

- Relatório de ensaio de radiografia.



RELATÓRIO DE ENSAIO DE RADIOGRAFIA
Radiographic Test Report



RELATÓRIO Nº Report Nr 14.P.04307	PÁGINA Page 2 DE Of 2
--------------------------------------	--------------------------

4. CRITÉRIO DE DECISÃO Decision Criteria

Ver Tabela Seguinte See following table	BOM Good -	ACEITÁVEL Acceptable /	REPARAR Repair +
---	------------	------------------------	------------------

5. EXTENSÃO DO ENSAIO Test Extension

Nº Nr	REFERÊNCIA DE MARCAÇÃO Marking references	ZONA DE FILME Film Zone	ÁREA ANALISADA Area under test	INTERPRETAÇÃO Interpretation	DECISÃO Acceptance	TÉCNICA Technique	TEMPO EXPO. Exposure Time [hh:mm:ss]	DFP [mm] SFD	DENSIDADE Film Density	FIO IQI VISÍVEL Visible IQI Wire	OBSERVAÇÕES Remarks
001	6.2465/1	0-20	RX1		-	6	2:30	170	2,5	7	
002	6.2465/1	20-40	RX1		-	6	2:30	170	2,5	7	
003	6.2465/1	40-0	RX1		-	6	2:30	170	2,5	7	
004	6.2465/1	0-20	RX2		-	6	2:30	170	2,5	7	
005	6.2465/1	20-40	RX2	Aa	/	6	2:30	170	2,5	7	
006	6.2465/1	40-0	RX2		-	6	2:30	170	2,5	7	
007	6.2465/1	0-20	RX3		-	6	2:30	170	2,5	7	
008	6.2465/1	20-40	RX3		-	6	2:30	170	2,5	7	
009	6.2465/1	40-0	RX3	Aa	/	6	2:30	170	2,5	7	
010	6.2465/1	0-20	RX4		-	6	2:30	170	2,5	7	
011	6.2465/1	20-40	RX4		-	6	2:30	170	2,5	7	
012	6.2465/1	40-0	RX4		-	6	2:30	170	2,5	7	

6. COMENTÁRIOS Remarks

RAD. - RADIOLOGISTA
INT. - INTERPRETAÇÃO RADIOGRAFICA



LOCAL E DATA DE EMISSÃO Place & Issue Date V.N.Gaia, 2014-05-15	OPERADOR(ES) E CERTIFICAÇÃO Operator(s) & Certification A.Moreira (Rad) +C.Vaz (In	ELABORADO POR Prepared by S.Sousa	VALIDAÇÃO Validation Pedro Oliveira (Resp.Local)
---	--	---	---

Copyright BUREAU VERITAS RINA VE - 12/2013

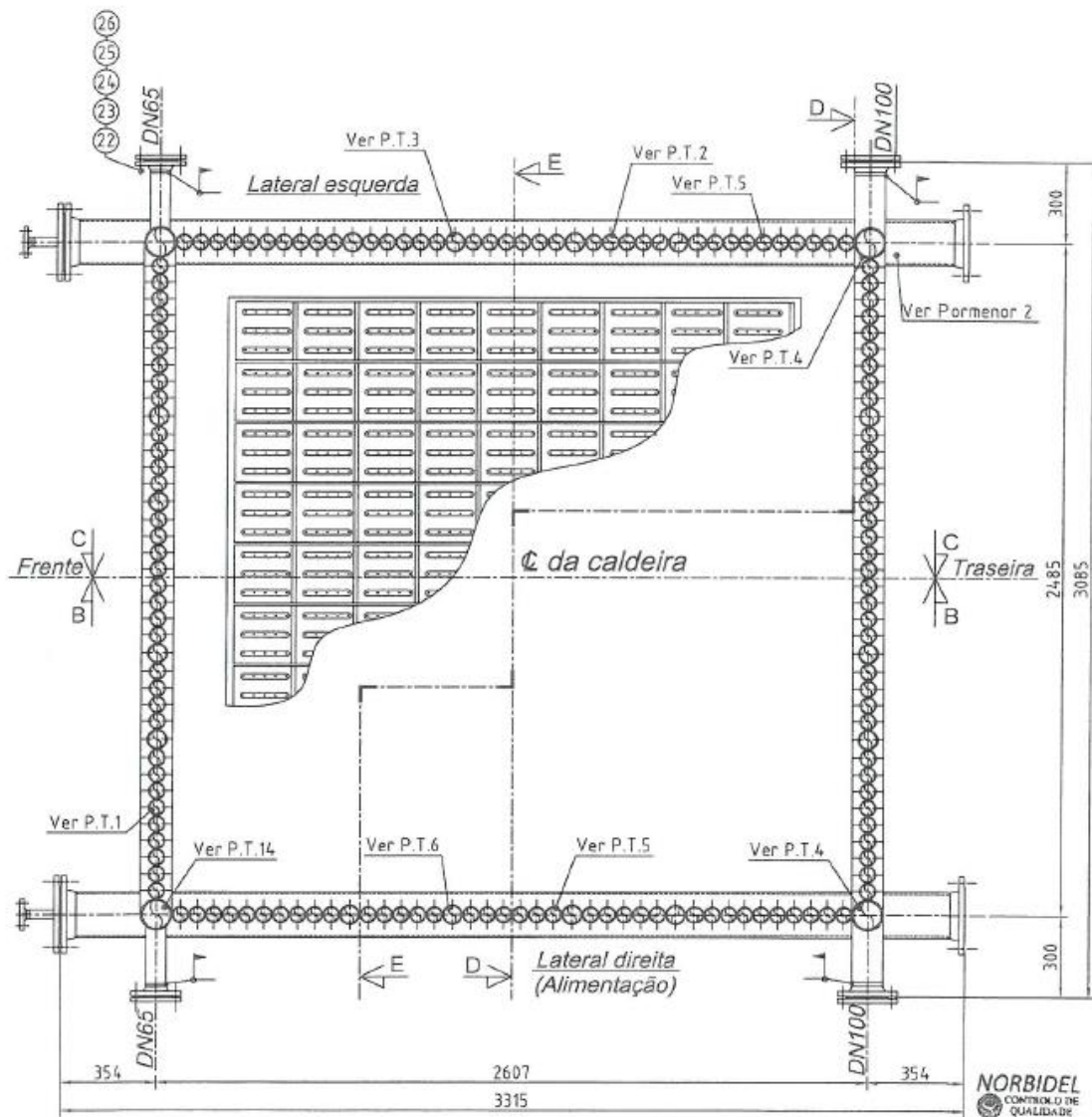
DELEGAÇÃO SUL
Polo Tecnológico de Lisboa, Lote 21
1600-485 Lisboa

DELEGAÇÃO NORTE
Rua 26 Janeiro, nº 350
Candil
4400-335 VILA NOVA DE GAIA

DELEGAÇÃO SINES
Edifício ZILS - Monte Feio
Salas 627, 628 e 630
7520-064 SINES

Nota: Não é permitida a reprodução parcial deste relatório
Este relatório diz respeito apenas aos itens ensaiados
Note: It is forbidden a partial reproduction of this report

- Identificação das soldaduras ensaiadas.

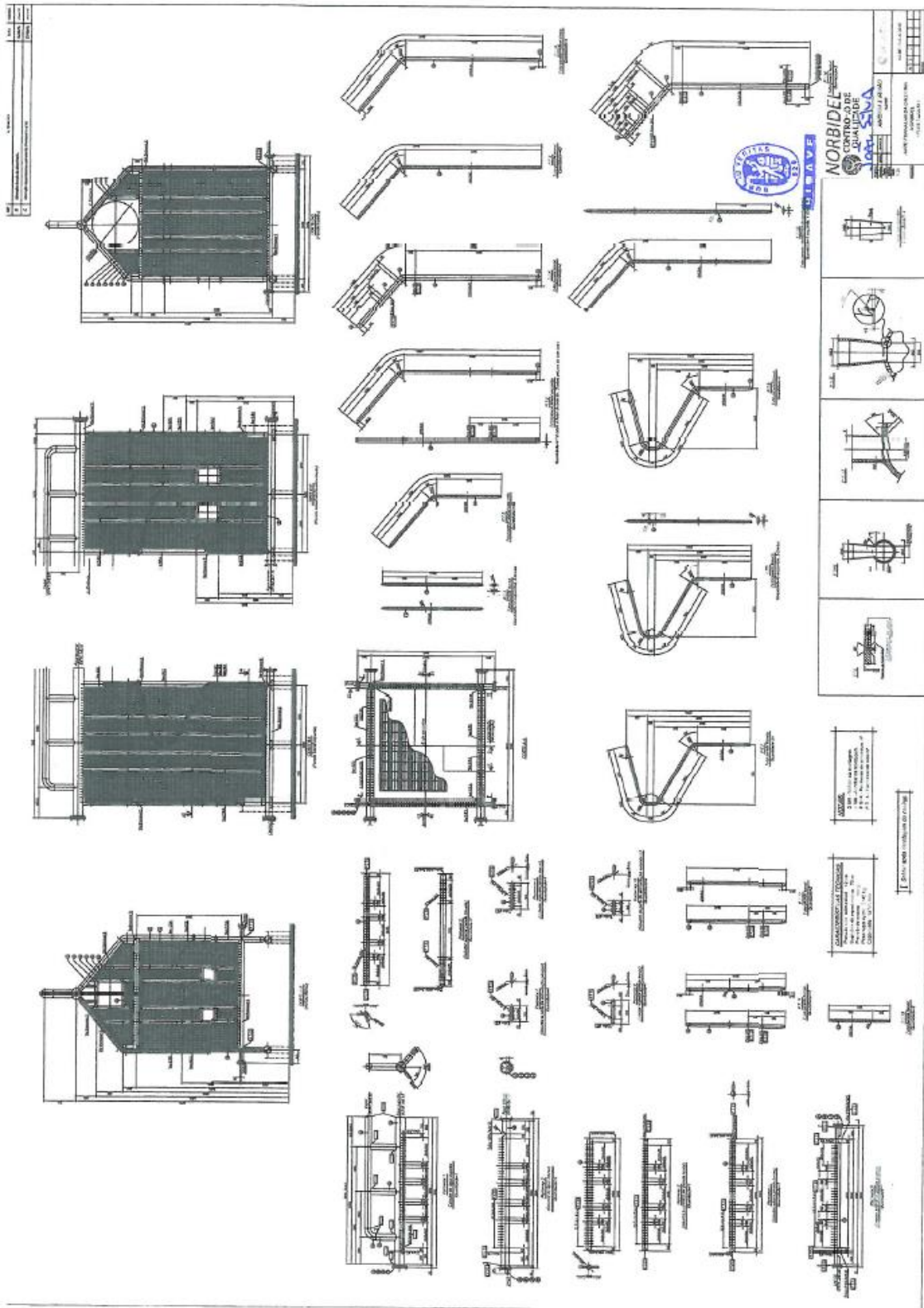


CORTE A-A

nº 6032.10 - 6,2405/1



- Identificação das soldaduras ensaiadas.



14.3 Anexo C – Cálculo das partes sob pressão

14.3.1 Caldeira

14.3.1.1 Código de cálculo TRD

As fórmulas usadas para o cálculo de construção da caldeira que é exemplificado, são as seguintes:

- Espessura de cálculo, TRD301:

$$s = s_v + c_1 + c_2 \quad (7)$$

$$s_A = s_{A0} + c_1 + c_2 \quad (8)$$

- Verificação da espessura, TRD301:

$$s_v = s_e - c_1 - c_2 \quad (9)$$

$$s_{A0} = s_{Ae} - c_1 - c_2 \quad (10)$$

- Espessura virolas, TRD301:

$$s_v = \frac{d_i \cdot p}{(2 \cdot \sigma_{all} - p) \cdot V_N} \quad (11)$$

ou

$$s_v = \frac{d_a \cdot p}{(2 \cdot \sigma_{all} - p) \cdot V_N + 2 \cdot p} \quad (12)$$

- Espessura do teto da caixa de inversão, TRD305:

$$s_0 = c_1 \cdot b \cdot c_2 \cdot \sqrt{\frac{p}{\sigma_{all}}} \quad (13)$$

- Espessura dos tampos, TRD305:

$$s_0 = C_3 \cdot d_e \cdot \sqrt{\frac{p}{\sigma_{all}}} \quad (14)$$

- Cutelos de reforço, TRD310:

-Esforço suportado por cada cutelo:

$$F = p \cdot l \cdot e \quad (15)$$

-Esforço suportado por cada cutelo:

$$M = \frac{F \cdot l}{8} \quad (16)$$

-Momento resistente necessário:

$$W = \frac{M}{1,3 \cdot \sigma_{all} \cdot z}$$

(17)

-Momento resistente disponível:

$$W_d = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad (18)$$

- Pressão admissível num tubo-fornalha liso e virola da caixa de inversão, TRD306:

$$p_a = 2 \cdot \sigma_{all} \cdot \frac{s_0}{d_m} \cdot \frac{1 + 0,1 \cdot \frac{d_m}{l}}{1 + 0,03 \cdot \frac{d_m}{s_0} \cdot \frac{U}{1 + 5 \cdot \frac{d_m}{l}}} \quad (19)$$

- Pressão admissível num tubo-fornalha liso ao colapso elástico, TRD306:

$$p_{ce} = 2 \cdot \frac{E}{s_k} \cdot \left\{ \frac{\frac{s_0}{d_a}}{(n^2 - 1) \cdot \left[1 + \left(\frac{n}{X} \right)^2 \right]^2} + \frac{\left(\frac{s_0}{d_a} \right)^3}{3 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left[n^2 - 1 + \frac{2 \cdot n^2 - 1 - \nu}{1 + \left(\frac{n}{X} \right)^2} \right] \right\} \quad (20)$$

-Valor de X:

$$X = \frac{\pi \cdot d_a}{2 \cdot l} \quad (21)$$

-Valor de n:

$$n = 1,63 \cdot \sqrt[4]{\left(\frac{d_a}{l}\right)^2 \cdot \frac{d_a}{s_0}} ; \begin{cases} n \text{ inteiro} \\ n \geq 2 \\ n > X \end{cases} \quad (22)$$

- Tubos de escora:

- Tensão de tração num tubo de escora:

$$\sigma_t = \frac{F_{te}}{S_t} \quad (23)$$

- Esforço exercido num tubo de escora:

$$F_{te} = p \cdot A_{te} \quad (24)$$

- Secção de um tubo de escora resistente à tração:

$$S_t = \frac{\pi \cdot (d_e^2 - d_i^2)}{4} \quad (25)$$

- Escoras:

- Tensão de tração numa escora:

$$\sigma_t = \frac{F_e}{S_{re}} \quad (26)$$

- Esforço exercido numa escora:

$$F_e = p \cdot A_e \quad (27)$$

- Secção de um tubo de escora resistente à tração:

$$S_{re} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (28)$$

- Esquadros:

- Área suportada pelos esquadros:

$$A = \pi \cdot r^2 \cdot \frac{\alpha}{360} - \frac{C}{2} \cdot h_{uf} \quad (29)$$

- Esforço exercido em cada esquadro:

$$F_e = \frac{p \cdot A}{N \cdot \cos 30} \quad (30)$$

- Tensão de tração em cada esquadro:

$$\sigma_t = \frac{F_e}{e \cdot b} \quad (31)$$

- Verificação da resistência das aberturas:

- Aberturas isoladas:

$$\left(\sigma_{all} - \frac{p}{2}\right) \cdot A_{\sigma t} + \left(\sigma_{all} - \frac{p}{2}\right) \cdot A_{\sigma t}' + \left(\sigma_{all} - \frac{p}{2}\right) \cdot f_1 \cdot A_{\sigma t}'' \geq p \cdot A_{pt} \quad (32)$$

- Limite de reforço da virola, TRD301:

$$e_G = \sqrt{(d_i + s_v) \cdot s_v} \quad (33)$$

- Limite de reforço nas tubuladuras, TRD301:

$$e_A = \left(1 + 0,25 \frac{\psi_A}{90^\circ}\right) \cdot \sqrt{(d_{Ai} + s_{A0}) \cdot s_{A0}} \quad (34)$$

- Porta de homem, TRD305, TRD309:

- Tampa:

$$s_0 = C_1 \cdot b \cdot C_2 \cdot \sqrt{\frac{P_t}{\sigma_{all}}} \quad (35)$$

- Esforço admissível por perno:

$$d_k = Z \sqrt{\frac{P_s}{\sigma_{all} \cdot n}} + c \quad (36)$$

14.3.1.2 Temperaturas e características dos materiais

VARIÁVEIS DE CÁLCULO

Pressão de cálculo	p	1,2 N/mm ²	12,0 bar (rel)
Temperatura do vapor saturado	T ₁	464 K	190,7 °C
Tipo de Fornalha			Lisa

TEMPERATURAS DE CÁLCULO (TRD 300, pag.3, tab.4)

Superfícies aquecidas por convecção	(Se=18) Tc=T1+ 2 x Se + 15	min = 250	= 250 °C
Superfície aquecida por radiação	Tc = T1 + 50		= 240,7 °C
Tubo de fornalha liso (TRD 306, pag.3, tab.4)	(Se=18) Tc = T1 + 4 x Se + 30	min.= 300	= 300 °C
Componentes c/vapor sat. protegidos	Tc = T1 + 20		= 210,7 °C

TENSÕES ADMISSÍVEIS

MATERIAL		Virola e Tampos CP, Tambo anterior, Teo e cunelos da cx. de inversão, esquadros Gola e tampa da entrada	Tubo Fornalha Liso, Cima da cx. Inversão e reforço da tubuladura de cinzas	Tampo posterior da cx. inversão	Tubos escora	Tubuladuras	Reforços, Escoras e Pernos entrada homem
		P265GH	P265GH	P265GH	P235GH	P235GH	S235JR
Norma		EN 10028-2	EN 10028-2	EN 10028-2	EN 10216-2	EN 10216-2	EN 10025
Temperatura de cálculo	T _c °C	210,7	300	240,7	250	210,7	210,7
Tensão de rotura temp. ambiente (Anexo D)	σ _s N/mm ²	410	410	410	360	360	360
Coeficiente de Segurança (TRD 300, pag. 4, tab. 5)		2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Tensão correspondente	N/mm ²	170,8	170,8	170,8	150	150	150
Limite de Elasticidade à Temp. cálculo (Anexo D)	σ _{0,2} N/mm ²	193,6	166	184,0	150	165,7	150,9
Coeficiente de Segurança (TRD 300, pag. 4, tab. 5 e 6) (TRD 306, pag.5)		1,5	2,5	1,5	1,5	1,5	2
Tensão correspondente	N/mm ²	129,1	66,4	122,7	100	110,5	75,5
Tensão adm. à temp. de cálculo (A menor tensão das duas calculadas)	σ _{all} N/mm ²	129,1	66,4	122,7	100	110,5	75,5

14.3.1.3.1 Virola cilíndrica (pressão interior) – TRD301

Pressão de cálculo	p	1,20 N/mm ²
Material	EN 10028-2	P265GH
Temperatura de cálculo	T _c	210,7 °C
Tensão admissível à temperatura de cálculo da virola	σ _{all}	129,1 N/mm ²
Diâmetro interior da virola (Figura 119)	d _i	2500 mm
Coefficiente de soldadura (decreto lei 211/99 - ponto 7.2)	V _N	0,8
Espessura da chapa sem tolerâncias $s_v = \frac{d_i \cdot p}{(2 \cdot \sigma_{all} - p) \cdot V_N}$	s _v	14,6 mm
Tolerância geométrica da chapa (fabricante)	c ₁	0,6 mm
Tolerância de corrosão (TRD 300, pag.5)	c ₂	1 mm
Espessura de chapa incluindo tolerâncias $s = s_v + c_1 + c_2$	s	16,2 mm
Rácio d _v /d _i (Máximo = 1,6)		1,01
Espessura de chapa adoptada para a virola	s _e	18 mm

14.3.1.3.2 Espelhos do corpo cilíndrico – TRD 305

Pressão de cálculo	p	1,2 N/mm ²
Material	EN 10028-2	P265GH
Temperatura de cálculo	T _c	210,7 °C
Tensão admissível à temperatura de cálculo dos espelhos	σ _{all}	129,1 N/mm ²
Diâmetro do círculo máximo inscrito (Figura 119)	d _e	380 mm
Coefficiente de bordos (TRD 305, pag.7, tab.4)	C ₃	0,45
Espessura da chapa sem tolerância $s_0 = C_3 \cdot d_e \cdot \sqrt{\frac{p}{\sigma_{all}}}$	s ₀	16,5 mm
Tolerância geométrica da chapa (fabricante)	c ₁	0,6 mm
Tolerância de corrosão (TRD 300, pag.5)	c ₂	0 mm
Espessura da chapa com margens $s = s_0 + c_1 + c_2$	s	17,1 mm
Espessura de chapa adoptada para os tampos	s _e	18 mm

14.3.1.3.3 Virola da fornalha (lisa) – TRD 306

- Cálculo da pressão admissível.

Pressão de cálculo	p	1,2 N/mm ²
Material	EN 10028-2	P265GH
Temperatura de cálculo	T _c	300 °C
Tensão admissível à temperatura de cálculo virola da fornalha	σ _{all}	66,4 N/mm ²
Diâmetro interior	d _i	1046 mm
Espessura da chapa adoptada para a virola da fornalha	s _e	18 mm
Diâmetro médio da virola da fornalha $d_m = d_i + s_e$	d _m	1064 mm
Diâmetro máximo $d_a = d_i + 2 \cdot s_e$	d _a	1082 mm
Tolerância geométrica da espessura da chapa (fabricante)	c ₁	0,6 mm
Tolerância de corrosão (TRD 300, pag.5)	c ₂	1 mm
Espessura de chapa sem tolerâncias $s_0 = s_e - c_1 - c_2$	s ₀	16,4 mm
Distância entre reforços da virola (Figura 119)	l	1342 mm
Irregularidade de forma (TRD 306, pag.4, ponto 5.4)	U	1,5
Pressão máxima admissível na fornalha $p_a = 2 \cdot \sigma_{all} \cdot \frac{s_0}{d_m} \cdot \frac{1 + 0,1 \cdot \frac{d_m}{l}}{1 + 0,03 \cdot \frac{d_m}{s_0} \cdot \frac{U}{1 + 5 \cdot \frac{d_m}{l}}}$	p _a	1,39 N/mm ²

Resistência assegurada pois a pressão máxima admissível é superior à pressão de cálculo

- Cálculo ao colapso elástico.

Coefficiente de segurança (TRD 306, pag.5, ponto 9.3)

S_k 3

Modulo de elasticidade do material à temperatura de cálculo

E 185000 N/mm²

X

$$X = \frac{\pi \cdot d_a}{2 \cdot l}$$

X 1,266

Número de rugas em caso de colapso

$$n = 1,63 \cdot \sqrt{\left(\frac{d_a}{l}\right)^2 \cdot \frac{d_a}{s_0}}$$

n 5

Coefficiente de Poisson do material

ν 0,3

Pressão admissível na virola da fornalha liso ao colapso elástico

$$p_{ce} = 2 \cdot \frac{E}{s_k} \cdot \left\{ \frac{\frac{s_0}{d_a}}{(n^2 - 1) \cdot \left[1 + \left(\frac{n}{X} \right)^2 \right]^2} + \frac{\left(\frac{s_0}{d_a} \right)^3}{3 \cdot (1 - \nu^2)} \left[n^2 - 1 + \frac{2 \cdot n^2 - 1 - \nu}{1 + \left(\frac{n}{X} \right)^2} \right] \right\}$$

P_{ce} 4,52 N/mm²

Resistência assegurada pois a pressão máxima admissível é superior à pressão de cálculo

14.3.1.3.4 Caixa de inversão

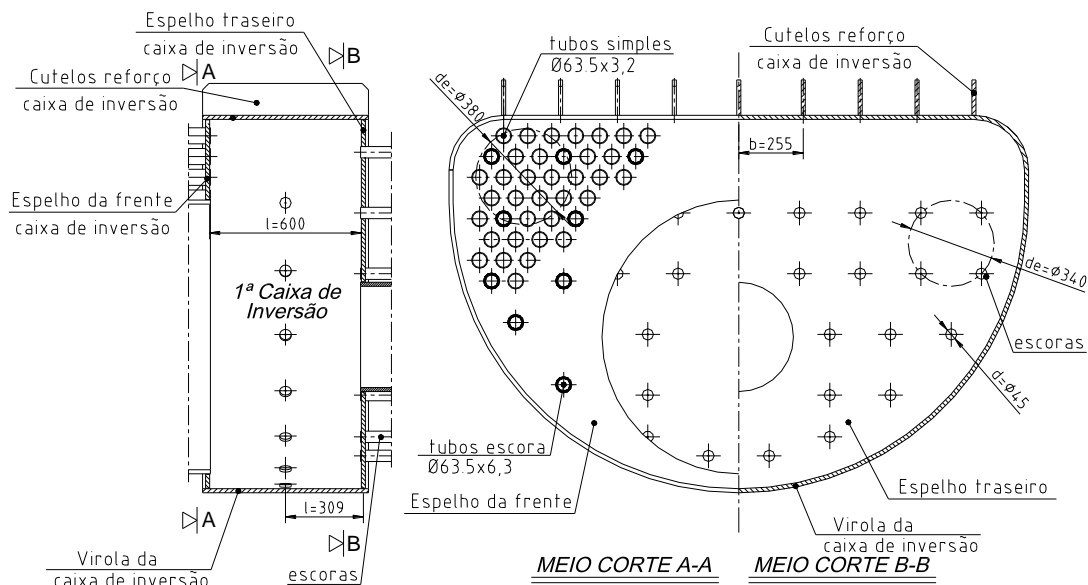


Figura 121 – Dimensões da caixa de inversão para fins de cálculo.

- Espelho da frente – TRD 305.

Pressão de cálculo

p 1,2 N/mm²

Material

EN 10028-2 P265GH

Temperatura de cálculo

T_c 210,7 °C

Tensão admissível à temperatura de cálculo do espelho da frente

σ_{all} 129,1 N/mm²

Diâmetro do círculo máximo inscrito (Figura 121)

d_c 380 mm

Coefficiente de bordos (TRD 305, pag.7, tab.4)

C_3 0,45

Espessura da chapa sem tolerância $s_0 = C_3 \cdot d_c \cdot \sqrt{\frac{p}{\sigma_{all}}}$

s_0 16,5 mm

Tolerância geométrica da chapa (fabricante)

c_1 0,6 mm

Tolerância de corrosão (TRD 300, pag.5)

c_2 0 mm

Espessura da chapa com margens $s = s_0 + c_1 + c_2$

s 17,1 mm

Espessura de chapa adoptada para o tempo anterior

s_e 18 mm

- Espelho traseiro – TRD 305.

Pressão de cálculo

p 1,2 N/mm²

Material

EN 10028-2 P265GH

Temperatura de cálculo

T_c 240,7 °C

Tensão admissível à temperatura de cálculo do espelho traseiro	σ_{all}	122,7 N/mm ²
Diâmetro do círculo máximo inscrito (Figura 121)	d_e	340 mm
Coefficiente de bordos (TRD 305, pag.7, tab.4)	C_3	0,45
Espessura da chapa sem tolerância $s_0 = C_3 \cdot d_e \cdot \sqrt{\frac{p}{\sigma_{all}}}$	s_0	15,1 mm
Tolerância geométrica da chapa (fabricante)	c_1	0,6 mm
Tolerância de corrosão (TRD 300, pag.5)	c_2	0 mm
Espessura da chapa com margens $s = s_0 + c_1 + c_2$	s	15,7 mm
Espessura de chapa adoptada para o tempo posterior	s_e	18 mm

- Virola da caixa de inversão – TRD 306.

Pressão de cálculo	p	1,2 N/mm ²
Material	EN 10028-2	P265GH
Temperatura de cálculo	T_c	300 °C
Tensão admissível à temperatura de cálculo da virola	σ_{all}	66 N/mm ²
Raio interior da virola (Figura 121)	r_i	1130 mm
Espessura da chapa adoptada teórica	s_e	18 mm
Tolerância geométrica da espessura da chapa (fabricante)	c_1	0,6 mm
Tolerância de corrosão (TRD 300, pag.5)	c_2	1 mm
Espessura de chapa sem tolerâncias $s_0 = s_e - c_1 - c_2$	s_0	16,4 mm
Diâmetro médio da virola $d_m = 2 \cdot r_i + s_e$	d_m	2278 mm
Distância entre escoras (Figura 115)	l	309 mm
Irregularidade de forma (TRD 306, pag.4, ponto 5.4)	U	1,5
Pressão máxima admissível para a virola $p_a = 2 \cdot \sigma_{all} \cdot \frac{s_0}{d_m} \cdot \frac{1 + 0,1 \cdot \frac{d_m}{l}}{1 + 0,03 \cdot \frac{d_m}{s_0} \cdot \frac{U}{1 + 5 \cdot \frac{d_m}{l}}}$	p_a	1,43 N/mm ²

Resistência assegurada pois a pressão máxima admissível é superior à pressão de cálculo

- Teto da caixa de inversão – TRD 305.

Pressão de cálculo	p	1,2 N/mm ²
Material	EN 10028-2	P265GH
Temperatura de cálculo	T_c	210,7 °C
Tensão admissível à temperatura de cálculo do teto	σ_{all}	129,1 N/mm ²
Lado maior (Figura 121)	l	600 mm
Lado menor (Figura 121)	b	255 mm
Razão b/l		0,43
Coefficiente de bordos (TRD 305, pag.5, tab.2)	C_1	0,45
Coefficiente de bordos (TRD 305, pag.5, tab.3)	C_2	1,44
Espessura de chapa sem tolerâncias $s_0 = C_1 \cdot b \cdot C_2 \cdot \sqrt{\frac{p}{\sigma_{all}}}$	s_0	15,9 mm
Tolerância geométrica da espessura da chapa (fabricante)	c_1	0,6 mm
Tolerância de corrosão (TRD 300, pag.5)	c_2	0 mm
Espessura de chapa com tolerâncias $s = s_0 + c_1 + c_2$	s	16,5 mm
Espessura de chapa adoptada para o teto	s_e	18 mm

- Cutelos do teto da caixa de inversão – TRD 310.

Pressão de cálculo	p	1,2 N/mm ²
Material	EN 10028-2	P265GH
Temperatura de cálculo	T_c	210,7 °C
Tensão admissível à temperatura de cálculo do cutelos	σ_{all}	129,1 N/mm ²

Espaçamento entre cutelos (Figura 121)	e	255 mm
Comprimento do cutelo (Figura 121)	l	600 mm
Coefficiente (TRD 310, pag.2)	z	1,67
Momento flector	$F = p \cdot l \cdot e \quad M = \frac{F \cdot l}{8}$	M_b 13770000 N.mm
Modulo resistente necessário	$W = \frac{M}{1,3 \cdot \sigma_{all} \cdot z}$	W 49241,1 mm ³
Espessura do cutelo teórico		b 18 mm
Altura de cálculo minima do cutelo teórico	$W_d = \frac{b \cdot h^2}{6}$	h 128 mm
Razão h / b (deve ser ≤ 8) (TRD 310, pag.2)	h / b	7,12
Dimensões adoptadas para os cutelos		130 x 18 mm
Razão h / b (deve ser ≤ 8)	h / b	7,22

14.3.1.3.5 Esquadros a 30° (espelhos do corpo)

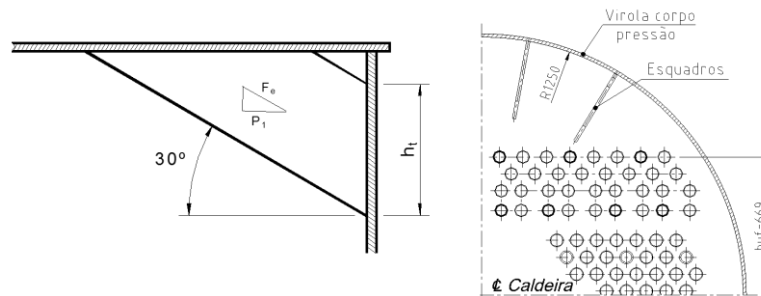


Figura 122 – Esquadros do corpo de pressão.

Pressão de cálculo	p	1,2 N/mm ²
Material	EN 10028-2	P265GH
Temperatura de cálculo	T_c	210,7 °C
Tensão admissível à temperatura de cálculo dos esquadros	σ_{all}	129,1 N/mm ²
Número de esquadros	N	4
Altura do centro à última fila de tubos (Figura 122)	h_{uf}	669 mm
Raio interior da virola (Figura 122)	R_i	1250 mm
Área máxima suportada por esquadros	$A = \left(\frac{R_i^2}{2} \right) \cdot \left(2 \cdot \arccos \left(\frac{h_{uf}}{R_i} \right) - \sin \left(2 \cdot \arccos \left(\frac{h_{uf}}{R_i} \right) \right) \right)$	A 865554 mm ²
Força exercida em cada esquadro na direcção perp. aos tampos	$P_1 = \frac{p \cdot A}{N}$	P_1 259666 N
Força na direcção dos esquadros	$F_e = \frac{P_1}{\cos(30^\circ)}$	F_e 299837 N
Espessura de cada esquadro		e 16 mm
Largura de cada esquadro		b 200 mm
Tensão de tracção em cada esquadro	$\sigma_t = \frac{F_e}{e \cdot b}$	σ_t 93,7 N/mm ²

Resistência assegurada pois a tensão de tracção é inferior à tensão admissível

14.3.1.3.6 Tubos escora – TRD 305

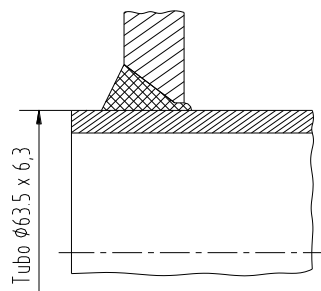


Figura 123 – Tubo de escora.

Pressão de cálculo	p	1,2 N/mm ²
Material do Aro-Gola	EN 10028-2	P265GH
Espessura da virola do corpo de pressão sem tolerâncias	s _v	16,4 mm
Diâmetro interior da virola	d _i	2500 mm
Temperatura de cálculo	T _c	210,7 °C
Tensão admissível à temperatura de cálculo da virola	σ _{all}	129,1 N/mm ²
Tensão admissível à temperatura de cálculo aro-gola	σ' _{all}	129,1 N/mm ²
Material da chapa de reforço, caso exista	EN 10025	S235JR
Temperatura de cálculo para a chapa de reforço	T _c	210,7 °C
Tensão admissível à temperatura de cálculo reforço	σ'' _{all}	75,5 N/mm ²
Inclinação do Aro-Gola relativa ao eixo longitudinal da virola (mín.45)	ψ _A	90 °
Menor diâmetro interior (na direcção circunferencial)	d _{ic}	310 mm
Maior diâmetro interior (na direcção longitudinal)	d _{il}	410 mm
Espessura nominal do Aro-Gola	s _{Ae}	20 mm
Tolerância geométrica da espessura da chapa do Aro-Gola (fabricante)	c ₁	0,5 mm
Tolerância de corrosão (TRD 300, pag.5)	c ₂	1 mm
Espessura do aro-gola sem margens	s _{A0} = s _{Ae} - c ₁ - c ₂	18,5 mm
Espessura nominal da chapa de reforço	s _{se}	0 mm
Tolerância geométrica da espessura da chapa de reforço (fabricante)	c ₁	0 mm
Tolerância de corrosão (TRD 300, pag.5)	c ₂	0 mm
Espessura da chapa de reforço sem margens	s _s	0 mm
Largura da chapa de reforço	b _s	0 mm
Diâmetro interior da abertura (diâm.de cálculo) d _{Ai} = d _{il} + 2 · (c ₁ + c ₂)	d _{Ai}	413 mm
Limites de reforço:		
Virola	e _G = √(d _i + s _v) · s _v	e _G 203,1 mm
Aro-Gola (exterior)	e _A = (1 + 0,25 $\frac{\psi_A}{90^\circ}$) · √(d _{Ai} + s _{A0}) · s _{A0}	e _A 111,7 mm
Aro-Gola (interior)		
Comprimentos disponíveis:		
Virola		> 203,1 mm
Aro-Gola (exterior) (valor assumido)	l _{A1}	42 mm
Aro-Gola (interior) (valor assumido)	l _{A2}	40 mm
Factor de eficiência do reforço (TRD 301, pag.13, tab. 2)	f ₁	0,7
Área carregada	A _{pl} = $\frac{d_i}{2} \cdot \left(e_G + \frac{d_{Ai}}{2} + s_{A0} \right) - l_{A2} \cdot \left(s_{A0} + \frac{d_{Ai}}{2} \right)$	A _{pl} 526185 mm ²
Área resistente:		
Virola	A _{ort} = e _G · s _v	A _{ort} 3331,6 mm ²
Aro-Gola	A' _{ort} = s _{A0} · (l _{A1} + l _{A2} + s _v)	A' _{ort} 1820,4 mm ²
Chapa reforço (máximo 250 °C)	A'' _{ort} = b _s · s _s	A'' _{ort} 0 mm ²
Valor do primeiro termo da equação	(σ _{all} - $\frac{p}{2}$) · A _{ort} + (σ' _{all} - $\frac{p}{2}$) · A' _{ort} + (σ'' _{all} - $\frac{p}{2}$) · f ₁ · A'' _{ort}	X 661863
Valor do segundo termo da equação	p · A _{pl}	Y 631421
Resistência assegurada pois X > Y		
<ul style="list-style-type: none"> • Esforço máximo admissível nos pernos. 		

Pressão de cálculo		p	1,2 N/mm ²
Número de pernos		n	2
Rosca			Métrica
Diâmetro nominal do perno		d	30 mm
Diâmetro do núcleo do perno		d _k	25,5 mm
Material dos pernos		EN 10025	S235JR
Temperatura de cálculo		T _c	210,7 °C
Tensão admissível à temperatura de cálculo do perno		σ _{all}	75,5 N/mm ²
Factor de qualidade (TRD 309, ponto 9)		φ	1
Coefficiente de segurança (TRD 309, ponto 8)		S	1,5
Coefficiente Z (TRD 309, tab.1)		Z	1,38
Coefficiente margem de diâmetro (TRD 309, ponto 4.3)		c	0 mm
Esforço admissível nos pernos	$d_k = Z \sqrt{\frac{P_s}{\sigma_{all} \cdot n}} + c$	P _s	51175,7 N
Área da elipse	$A = \frac{\pi \cdot d_{il} \cdot d_{ic}}{4}$	A	99824,1 mm ²
Pressão correspondente ao esforço de aperto	$P_a = A \cdot P_s$	P _a	0,51 N/mm ²
Pressão total de cálculo na tampa	$P_t = p + P_a$	P _t	1,71 N/mm ²

- Tampa da porta de homem – TRD 305.

Pressão total de cálculo na tampa		P _t	1,71 N/mm ²
Material da tampa		EN 10028-2	P265GH
Temperatura de cálculo		T _c	210,7 °C
Tensão admissível à temperatura de cálculo da chapa		σ _{all}	129,1 N/mm ²
Coefficiente de bordos (TRD 305, pag.5, tab.2)		C ₁	0,45
Valor de d _{ic} /d _{il}		d _{ic} /d _{il}	0,756
Coefficiente de bordos (TRD 305, pag.5, tab.3)		C ₂	1,146
Espessura da chapa sem tolerâncias	$s_0 = C_1 \cdot d_{ic} \cdot C_2 \cdot \sqrt{\frac{P_t}{\sigma_{all}}}$	s ₀	18,4 mm
Tolerância geométrica da espessura da chapa (fabricante)		c ₁	0,6 mm
Tolerância de corrosão (TRD 300, pag.5)		c ₂	1 mm
Espessura de cálculo com margens	$s = s_0 + c_1 + c_2$	s	20,0 mm
Espessura adoptada para a tampa		s _e	22 mm

14.3.1.3.9 Tubuladuras – TRD 301

- Tubuladuras radiais.

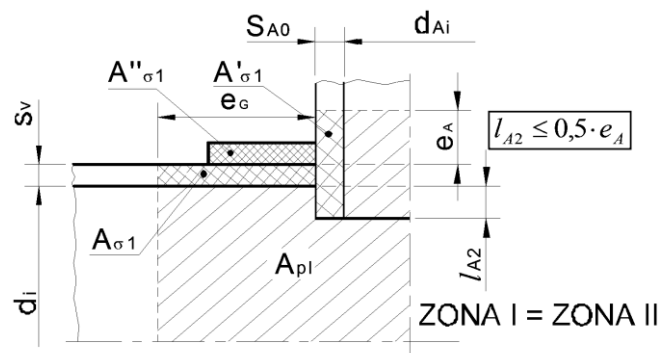


Figura 126 – Tubuladura radial.

		Água alimentação ante-formalha	Saída de Vapor	Electrodos	Válvulas de segurança	
		T10	T5	T2	T4	
Pressão de cálculo	p	1,2	1,2	1,2	1,2 N/mm ²	
Material da tubuladura	EN 10216-2	P235GH	P235GH	P235GH	P235GH	
Temperatura de cálculo	T _c	210,7	210,7	210,7	210,7 °C	
Tensão admissível à temperatura de cálculo do tubo	σ' _{all}	110,5	110,5	110,5	110,5 N/mm ²	
Inclinação do tubo relativa ao eixo long. da virola (mín 45)	ψ _A	90	90	90	90 °	
Diâmetro exterior da tubuladura	d _{Ae}	168,3	139,7	88,9	76,1 mm	
Espessura nominal da tubuladura	s _{Ae}	4,5	4	3,2	3,2 mm	
Tolerância geo. da parede do tubo	c ₁ = 0,125 · s _e	c ₁	0,56	0,50	0,40	0,40 mm
Tolerância de corrosão (TRD 300, pag.5)	c ₂	c ₂	1	1	1	1 mm
Espessura sem margens	s _{A0} = s _{Ae} - c ₁ - c ₂	s _{A0}	2,94	2,50	1,80	1,80 mm
Diâmetro interior de cálculo	d _{Ai} = d _{Ae} - 2 · s _{A0}	d _{Ai}	162,4	134,7	85,3	72,5 mm
Limite reforço da virola	e _G = √(d _i + s _v) · s _v	e _G				203,1 mm
Limite do reforço útil exterior	e _A = (1 + 0,25 $\frac{\psi_A}{90^\circ}$) · √(d _{Ai} + s _{A0}) · s _{A0}	e _A	27,5	23,2	15,7	14,5 mm
Limite do reforço útil interior	l _{A2}	l _{A2}	13,8	11,6	7,8	7,2 mm
Material da chapa de reforço	EN 10025	S235JR	S235JR	S235JR	S235JR	
Temperatura de cálculo	T _c	210,7	210,7	210,7	210,7 °C	
Tensão adm. à temperatura de cálculo do reforço	σ'' _{all}	σ'' _{all}	75,5	75,5	75,5	75,5 N/mm ²
Largura da chapa de reforço	b _s	b _s	0	0	0	0 mm
Espessura nominal da chapa reforço	s _{Se}	s _{Se}	0	0	0	0 mm
Tolerância geométrica da chapa reforço (fabricante)	c ₁	c ₁	0	0	0	0 mm
Tolerância de corrosão (TRD 300, pag.5)	c ₂	c ₂	0	0	0	0 mm
Espessura da chapa de reforço sem margens	s _S	s _S	0	0	0	0 mm
Factor de eficiência da chapa (TRD 301, pag.13, tab. 2)	f ₁	f ₁	1	1	1	1
Área carregada	A _{pl} = $\frac{d_i}{2} \cdot \left(e_G + \frac{d_{Ai}}{2} + s_{A0} \right) + \frac{d_{Ai}}{2} \cdot (e_A + s_v) - l_{A2} \cdot s_{A0}$	A _{pl}	362651	343882	310850	302603 mm ²
Área resistente:						
Virola	A _{ot} = e _G · s _v	A _{ot}	3331,6	3331,6	3331,6	3331,6 mm ²
Tubuladura	A' _{ot} = s _{A0} · (l _{A1} + l _{A2} + s _v)	A' _{ot}	169,6	127,8	71,8	68,6 mm ²
Chapa de reforço	A'' _{ot} = b _s · s _S	A'' _{ot}	0	0	0	0 mm ²
Valor de X	$\left(\sigma_{all} - \frac{p}{2} \right) \cdot A_{ot} + \left(\sigma_{all} - \frac{p}{2} \right) \cdot A'_{ot} + \left(\sigma_{all} - \frac{p}{2} \right) \cdot f_1 \cdot A''_{ot}$	X	446632	442045	435888	435534
Valor de Y	p · A _{pl}	Y	435181	412658	373020	363123
Resistência assegurada pois X > Y						

- Tubuladuras não radiais.

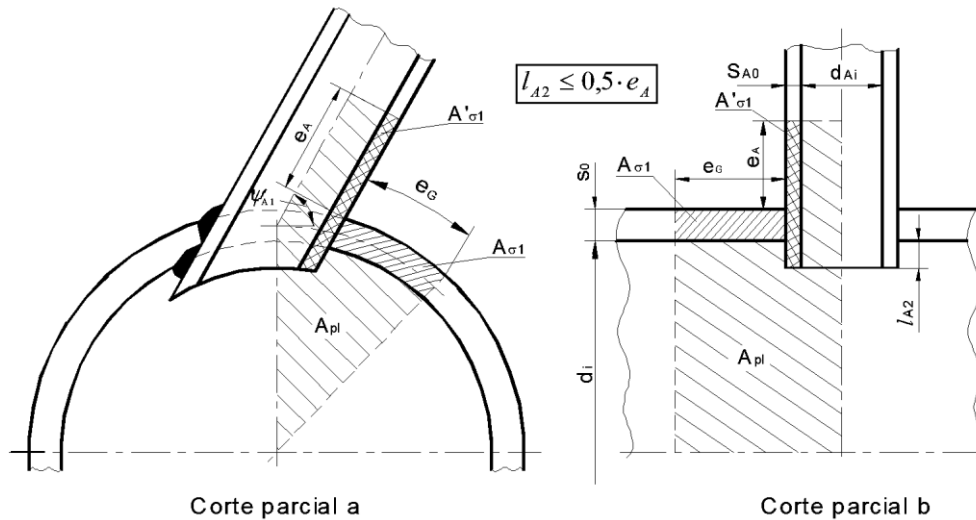


Figura 127 – Tubuladura não radial.

		T7; T8
Pressão de cálculo	p	1,2 N/mm ²
Material da virola	EN 10028-2	P265GH
Temperatura de cálculo	T_c	210,7 °C
Tensão admissível à temperatura de cálculo da virola	σ_{all}	129,1 N/mm ²
Diâmetro interior da virola	d_i	2500 mm
Tolerância geométrica da chapa (fabricante)	c_1	0,6 mm
Tolerância de corrosão (TRD 300, pag.5)	c_2	1 mm
Espessura de chapa adoptada para a virola	s_e	18 mm
Espessura da virola sem margens	$s_0 = s_e - c_1 - c_2$	16,4 mm
Limite de reforço na virola	$e_G = \sqrt{(d_i + s_v) \cdot s_v}$	203,1 mm
Material da tubuladura	EN 10216-2	P235GH
Temperatura de cálculo	T_c	210,7 °C
Tensão admissível à temperatura de cálculo tubuladura	σ'_{all}	110,5 N/mm ²
Ângulo entre o eixo da tubuladura e a tangente ao corpo	ψ_{A1}	61 °
Diâmetro exterior da tubuladura	d_{Ae}	33,7 mm
Espessura nominal	s_{Ae}	3,2 mm
Tolerância geo. da parede do tubo	$c_1 = 0,125 \cdot s_e$	0,4 mm
Tolerância de corrosão (TRD 300, pag.5)	c_2	1 mm
Espessura sem margens	$s_{A0} = s_{Ae} - c_1 - c_2$	1,80 mm
Diâmetro interior de cálculo	$d_{Ai} = d_{Ae} - 2 \cdot s_{A0}$	30,1 mm
Limite exterior de reforço	$e_A = \left(1 + 0,25 \frac{\psi_A}{90^\circ}\right) \cdot \sqrt{(d_{Ai} + s_{A0}) \cdot s_{A0}}$	8,9 mm
Limite interior de reforço	$l_{A2} = 0,5 \cdot e_A$	4,4 mm
Disposição a :		
Área carregada	$A_{pl} = \left\{ \frac{\left(\frac{d_i}{2}\right)^2 \cdot \left(e_G + \frac{d_{Ae}}{2 \cdot \sin \psi_A}\right)}{\left(\frac{d_i + s_0}{2}\right)} + \left(\frac{d_{Ae} - s_{A0}}{2}\right) \cdot \left(e_A + \frac{s_0}{\sin \psi_A}\right) \right\} \cdot A_{pl}$	276620 mm ²
Área resistente na virola	$A_{\sigma1} = e_G \cdot s_v$	3331,6 mm ²
Área resistente no tubo	$A'_{\sigma1} = \left(e_A + \frac{s_0}{\sin(\psi_{A1})} + l_{A2}\right)$	57,7 mm ²

Valor de X	$\left(\sigma_{all} - \frac{p}{2}\right) \cdot A_{ct} + \left(\sigma'_{all} - \frac{p}{2}\right) \cdot A'_{ct}$	X	434339
Valor de Y	$p \cdot A_{pl}$	Y	331944
Resistência assegurada pois $X > Y$			
Disposição b :			
Área carregada	$A_{pl} = \frac{d_i}{2} \cdot \left(e_G + \frac{d_{Ae}}{2}\right) + \frac{d_{Ai}}{2} \cdot (e_A + s_0) - s_{A0} \cdot l_{A2}$	A_{pl}	275369 mm ²
Área resistente na virola	$A_{ct} = e_G \cdot s_V$	A_{ct}	3331,6 mm ²
Área resistente no tubo	$A'_{ct} = s_{A0} \cdot (e_A + s_0 + l_{A2})$	A'_{ct}	53,4 mm ²
Valor de X	$\left(\sigma_{all} - \frac{p}{2}\right) \cdot A_{ct} + \left(\sigma'_{all} - \frac{p}{2}\right) \cdot A'_{ct}$	X	433874
Valor de Y	$p \cdot A_{pl}$	Y	330443
Resistência assegurada pois $X > Y$			

14.3.2 Ante-Fornalha

14.3.2.1 Código de cálculo TRD

As fórmulas usadas para o cálculo de construção da ante-fornalha que é exemplificado, são as seguintes:

- Espessura de cálculo, TRD301:

$$s = s_v + c_1 + c_2 \quad (37)$$

- Virola cilíndrica, tubos e coletores, TRD301:

$$s_v = s_e - c_1 - c_2 \quad (38)$$

$$s_{A0} = s_{Ae} - c_1 - c_2 \quad (39)$$

$$s_o = \frac{d_i \cdot p}{(2 \cdot \sigma_{all} - p) \cdot V_N} \quad (40)$$

ou

$$s_o = \frac{d_a \cdot p}{(2 \cdot \sigma_{all} - p) \cdot V_N + 2 \cdot p} \quad (41)$$

- Curvas (anexo II [2]), TRD301:

$$s_{vi} = s_v \cdot B_i \quad (42)$$

$$s_{va} = s_v \cdot B_a \quad (43)$$

$$\sigma_i = \frac{p \cdot (d_a - s_{vi} - s_{va})}{2 \cdot s_{vi} \cdot v_N} \cdot \frac{2 \cdot R - 0,5 \cdot d_a + 4,5 \cdot s_{vi} - 0,5 \cdot s_{va}}{2 \cdot R - d_a + s_{vi}} + \frac{p}{2} \quad (44)$$

$$\sigma_a = \frac{p \cdot (d_a - s_{vi} - s_{va})}{2 \cdot s_{va} \cdot v_N} \cdot \frac{2 \cdot R - 0,5 \cdot d_a + 0,5 \cdot s_{vi} - 1,5 \cdot s_{va}}{2 \cdot R - d_a + s_{va}} + \frac{p}{2} \quad (45)$$

- Verificação da resistência das aberturas, TRD301:

- Verificação da vizinhança:

$$t_\varphi \geq \left(\frac{d_{Ai1}}{2} + s_{A01} \right) + \left(\frac{d_{Ai2}}{2} + s_{A02} \right) + 2\sqrt{(d_i + s_v) \cdot s_v} \quad (46)$$

- Aberturas isoladas:

$$\left(\sigma_{all} - \frac{p}{2} \right) \cdot A_{\sigma t} + \left(\sigma'_{all} - \frac{p}{2} \right) \cdot A'_{\sigma t} + \left(\sigma''_{all} - \frac{p}{2} \right) \cdot f_1 \cdot A''_{\sigma t} \geq p \cdot A_{pt} \quad (47)$$

- Aberturas adjacentes:

$$\left(\sigma_{all} - \frac{p}{2} \right) \cdot A_{\sigma 0} + \left(\sigma'_{all} - \frac{p}{2} \right) \cdot A_{\sigma 1} + \left(\sigma''_{all} - \frac{p}{2} \right) \cdot A_{\sigma 2} + \left(\sigma'''_{all} - \frac{p}{2} \right) \cdot f_1 \cdot A'_{\sigma 0} \geq \quad (48)$$

$$\geq \frac{p}{2} \cdot \left[A_{p0} (1 + \cos^2 \varphi_A) + 2 \cdot A_{p1} + 2 \cdot A_{p2} \right] \quad (48)$$

- Filas de tubos (coletores), TRD301:

- Eficiência de ligamento:

$$V_L = \frac{2 \cdot (t_\varphi - d_{Aa})}{(1 + \cos^2 \psi_A) \cdot t_\varphi} \leq 1 \quad (49)$$

- Cálculo da espessura:

$$s_v = \frac{d_i \cdot p}{(2\sigma_{all} - p) \cdot V_L} \quad (50)$$

- Limite de reforço da virola:

$$e_G = \sqrt{(d_i + s_v) \cdot s_v} \quad (51)$$

-Limite de reforço nas tubuladuras:

$$e_A = \left(1 + 0,25 \frac{\psi_A}{90^\circ} \right) \cdot \sqrt{(d_{Ai} + s_{A0}) \cdot s_{A0}} \quad (52)$$

14.3.2.2 Norma Europeia EN 12952-5

As fórmulas usadas para fazer o controlo dimensional são:

- Espessuras:

$$e_{ext} = e_{act} \cdot \frac{2 \cdot \left(\frac{r_b}{d_0}\right) + 0,5}{2 \cdot \left(\frac{r_b}{d_0}\right) + 1} \quad (53)$$

- Ovalização:

$$U = \frac{2 \cdot (D_{máx} - D_{mín})}{(D_{máx} + D_{mín})} \cdot 100 \quad (54)$$

14.3.2.3 Temperaturas e características dos materiais

VARIÁVEIS DE CÁLCULO

Pressão de cálculo	p	1,2 N/mm ²	12 bar (rel)
Temperatura do vapor saturado	T ₁	464 K	190,7 °C

TEMPERATURAS DE CÁLCULO (TRD 300, pag.3, tab.4)

Superfície aquecida por radiação	T _c = T ₁ + 50	=	240,7 °C
Componentes c/vapor sat. protegidos	T _c = T ₁ + 20	=	210,7 °C

TENSÕES ADMISSÍVEIS

		Feixe tubular da ante-formalha	Colectores da ante-formalha	Colectores e feixe tubular da ante-formalha	Reforços	
Material		P235GH	A106Gr.B	A106Gr.B	S235JR	
Norma		EN10216	ASTM	ASTM	EN10025	
Temperatura de cálculo	T _c	240,7	210,7	240,7	210,7	°C
Tensão de rotura à temp. ambiente (Anexo D)	σ _s	360	415	415	340	N/mm ²
Coeficiente de Segurança (TRD 300, pag. 4, tab. 5)		2,4	2,4	2,4	2,4	
Tensão correspondente		150,0	172,9	172,9	141,7	N/mm²
Limite Elasticidade à temp. de cálculo (Anexo D)	σ _{0,2}	153,7	205,3	199,9	155,7	N/mm ²
Coeficiente de Segurança (TRD 300, pag. 4, tab. 5)		1,5	1,5	1,5	1,5	
Tensão correspondente		102,5	136,9	133,3	103,8	N/mm²
Tensão de Cálculo (A menor tensão das duas calculadas)	σ _{all}	102,5	136,9	133,3	103,8	N/mm²

14.3.2.4 Feixe tubular e coletores – TRD 301

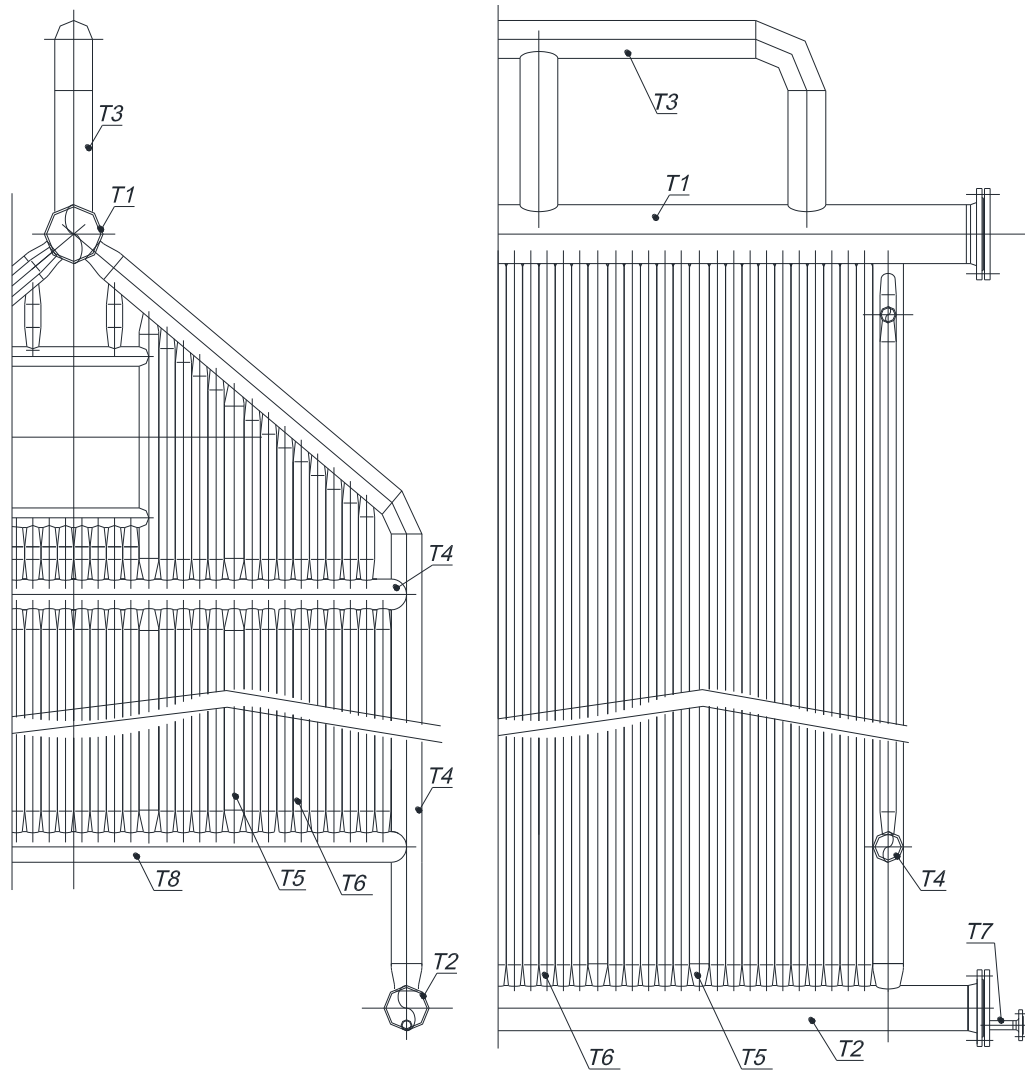


Figura 128 – Feixe tubular e coletores da ante-fornalha.

	T1	T2	T3	T4	T5		
Pressão de cálculo	p	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2 N/mm ²	
Material	A106						
Norma	ASTM						
Temperatura de cálculo	T _c	240,7	210,7	210,7	240,7	240,7 °C	
Tensão admissível à temp. de cálculo do tubo	σ _{all}	133,3	136,9	136,9	133,3	133,3 N/mm ²	
Diâmetro exterior do tubo	d _e	219,1	168,3	141,3	114,3	73 mm	
Espessura adoptada do tubo	s _e	8,18	7,11	6,55	6,02	5,16 mm	
Coefficiente de soldadura (decreto lei 211/99 - ponto 7.2)	V _N	1	1	1	1	1	
Esp. min.da parede do tubo s/ tolerância	$s_o = \frac{d_e \cdot p}{(2 \cdot \sigma_{all} - p) \cdot V_N + 2 \cdot p}$	s ₀	1,0	0,7	0,6	0,5	0,3 mm
Tolerância geo. da parede do tubo	c ₁ = 0,125 · s _e	c ₁	1,0	0,9	0,8	0,8	0,6 mm
Tolerância de corrosão (TRD 300, pag.5)	c ₂	c ₂	1	1	1	1	1 mm
Esp. da parede tubo incluindo tolerâncias	$s_v = s_e - c_1 - c_2$	s _v	6,2	5,2	4,7	4,3	3,5 mm
Racio d _e /d _i (Máximo = 1,6)			1,08	1,09	1,10	1,12	1,16

		T6	T7
Pressão de cálculo	p	1,2	1,2 N/mm ²
Material		P235GH	A106Gr.B
Norma		EN 10216	ASTM
Temperatura de cálculo	T _c	240,7	210,7 °C
Tensão admissível à temp. de cálculo do tubo	σ _{all}	102,5	136,9 N/mm ²
Diâmetro exterior do tubo	d _e	60,3	33,4 mm
Espessura adoptada do tubo	s _e	4,0	3,38 mm
Coeficiente de soldadura (decreto lei 211/99 - ponto 7.2)	V _N	1	1
Esp. min.da parede do tubo s/ tolerância	$s_o = \frac{d_a \cdot p}{(2 \cdot \sigma_{all} - p) \cdot V_N + 2 \cdot p}$ s _o	0,4	0,1 mm
Tolerância geo. da parede do tubo	c ₁ = 0,125 · s _e c ₁	0,5	0,4 mm
Tolerância de corrosão (TRD 300, pag.5)	c ₂	1	1 mm
Esp. da parede tubo incluindo tolerâncias	s _v = s _e - c ₁ - c ₂ s _v	2,5	2,0 mm
Racio d _e /d _i (Máximo = 1,6)		1,15	1,25

14.3.2.5 Tubos com curvatura – TRD 301

Calculo desnecessário se d_e ≤ 70mm (TRD 301 anexoll)

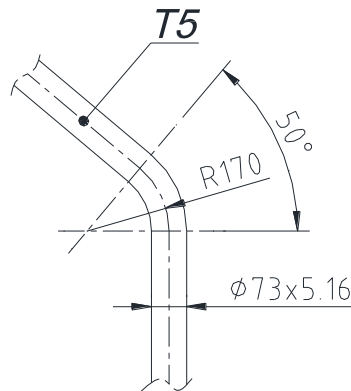


Figura 129 – Tubo com curvatura.

Pressão de cálculo	p	1,2 N/mm ²
Diâmetro exterior do tubo	d _a	73 mm
Raio de curvatura do tubo	R	170 mm
Coeficiente de soldadura (decreto lei 211/99 - ponto 7.2)	V _N	1
R/d _a		2,3
s _v /d _a		0,048
Coeficiente B _i (TRD 301 Anexo 2; fig. 2)	B _i	1,138
Coeficiente B _a (TRD 301 Anexo 2; fig. 4)	B _a	0,909
Espessura no interior da curva s/ tolerância	s _{vi} = s _v · B _i s _{vi}	4,00 mm
Espessura no exterior da curva s/ tolerância	s _{va} = s _v · B _a s _{va}	3,20 mm
Tensão no interior da curva	$\sigma_i = \frac{p \cdot (d_a - s_{vi} - s_{va})}{2 \cdot s_{vi} \cdot V_N} \cdot \frac{2 \cdot R - 0,5 \cdot d_a + 4,5 \cdot s_{vi} - 0,5 \cdot s_{va}}{2 \cdot R - d_a + s_{vi}} + \frac{p}{2}$ σ _i	11,8 N/mm ²

Tensão no exterior da curva

$$\sigma_a = \frac{p \cdot (d_a - s_{vi} - s_{va})}{2 \cdot s_{va} \cdot v_N} \cdot \frac{2 \cdot R - 0,5 \cdot d_a + 0,5 \cdot s_{vi} - 1,5 \cdot s_{va}}{2 \cdot R - d_a + s_{va}} + \frac{p}{2}$$

σ_a

14,4 N/mm²

$\sigma_i < \sigma_{all}$

Verifica

$\sigma_a < \sigma_{all}$

Verifica

14.3.2.6 Abertura nos coletores – TRD 301

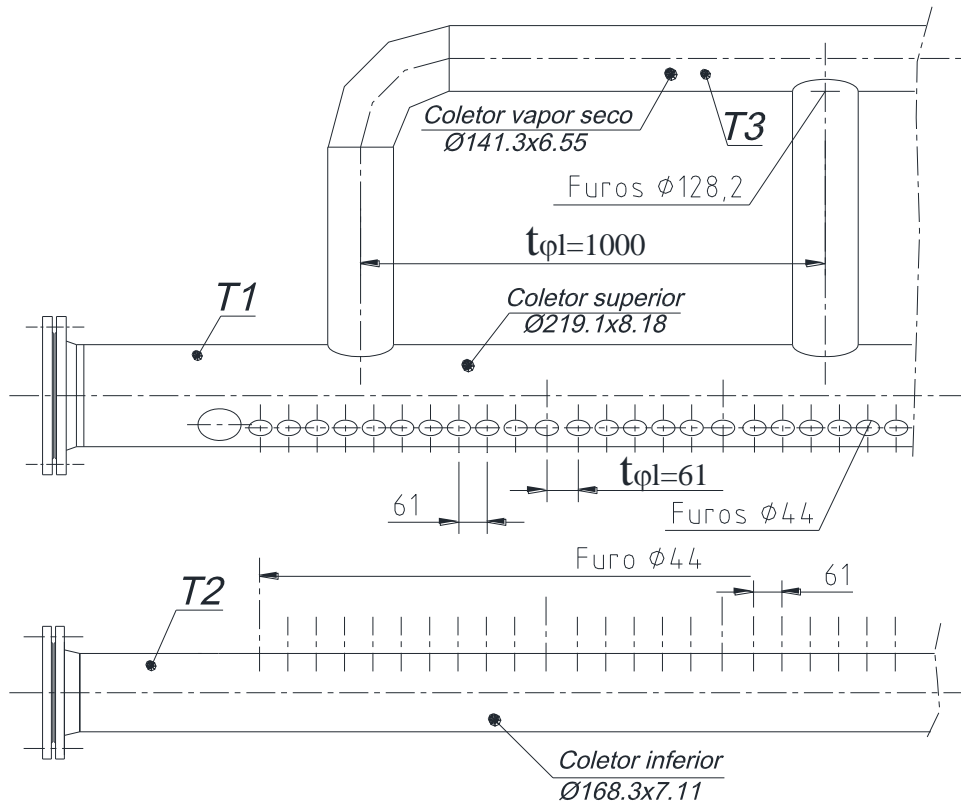


Figura 130 – Abertura nos coletores.

		T1	T2	T3	
Incl. relativ. ao eixo long. colector (min 45°)	ψ_A	90	90	90 °	
Pressão de cálculo	p	1,2	1,2	1,2	
Material		A106Gr.B			
Norma		ASTM			
Temperatura de cálculo	T_c	240,7	240,7	210,7 °C	
Tensão admissível à temp. de cálculo	σ_{all}	133,3	133,3	136,9 N/mm ²	
Diâmetro exterior	d_a	219,1	168,3	141,3 mm	
Espessura nominal	s_e	8,18	7,11	6,55 mm	
Tolerância geo. da parede do tubo	$c_1 = 0,125 \cdot s_e$	c_1	1,02	0,89	0,82 mm
Margem de corrosão (TRD 300, pag.5)	c_2		1	1	1 mm
Espessura s/ margens	$s_v = s_e - c_1 - c_2$	s_v	6,16	5,22	4,73 mm
Diâmetro interior de calculo	$d_i = d_a - 2 \cdot s_v$	d_i	206,8	157,9	131,8 mm
Diâmetro dos furos nos coletores (Figura 127)	d_{Aa}		44	44	128,2 mm

Dist. entre centros das aberturas:

Longitudinal (Figura 128)		$t_{\phi l}$	61	61	1000 mm
Circunferencial		$t_{\phi c}$	0	0	0 mm
Total		t_{ϕ}	61	61	1000 mm
Ângulo com eixo longitudinal		ϕ_A	0	0	0°
Eficiência do ligamento	$V_L = \frac{2(t_{\phi} - d_{Ao})}{(1 + \cos^2 \phi_A)t_{\phi}} \leq 1$	V_L	0,279	0,279	0,872
Espessura necessária	$s_0 = \frac{d_i \cdot p}{(2\sigma_{all} - p) \cdot V_L}$	s_0	3,4	2,6	0,7 mm
$s_v \geq$ esp. necessária			Verifica	Verifica	Verifica

14.3.2.7 Aberturas isoladas – TRD 301

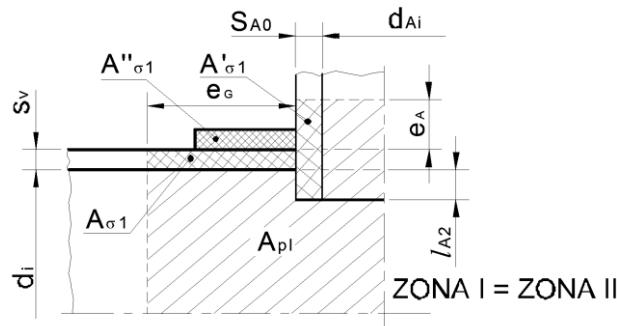


Figura 131 – Aberturas isoladas.

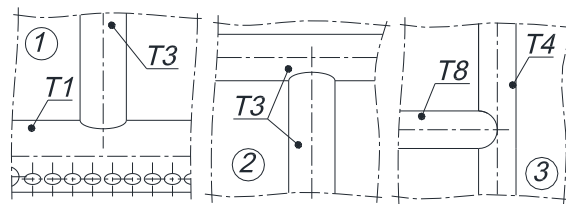


Figura 132 – Aberturas isoladas.

Incl. relativ. ao eixo long. coletor (min 45°)	ψ_A	1	2	3
Pressão de cálculo	p	90	90	90°
Temperatura de cálculo	T_c	1,2	1,2	1,2 N/mm ²
		210,7	210,7	240,7 °C

Coletor:

Material		A106Gr.B			
Norma		ASTM			
Diâmetro exterior do coletor	d_a	219,1	141,3	114,3 mm	
Espessura nominal do coletor	s_e	8,18	6,55	6,02 mm	
Tolerância geo. da parede do tubo	$c_1 = 0,125 \cdot s_e$	c_1	1,02	0,82	0,75
Margem de corrosão (TRD 300, pag.5)		c_2	1	1	1
Espessura s/ margens	$s_v = s_e - c_1 - c_2$	s_v	6,2	4,7	4,3 mm
Diâmetro interior de cálculo	$d_i = d_a - 2 \cdot s_v$	d_i	206,8	131,8	105,8 mm
Tensão admissível do coletor		σ_{all}	136,9	136,9	133,27 N/mm ²
Limite de reforço	$e_G = \sqrt{(d_i + s_v) \cdot s_v}$	e_G	36,2	25,4	21,7 mm

Tubuladuras:

		1	2	3	
Material		A106Gr.B			
Norma		ASTM			
Diâmetro exterior da tubuladura	d_{Ae}	141,3	141,3	114,3 mm	
Espessura nominal da tubuladura	s_{Ae}	6,55	6,55	8,56 mm	
Tolerância geo. da parede do tubo	$c_1 = 0,125 \cdot s_e$	c_1	0,82	0,82	1,07
Margem de corrosão (TRD 300, pag.5)		c_2	1	1	1
Espessura sem margens	$s_{A0} = s_{Ae} - c_1 - c_2$	s_{A0}	4,7	4,7	6,5 mm
Diâmetro interior de cálculo	$d_{Ai} = d_{Ae} - 2 \cdot s_{A0}$	d_{Ai}	131,8	131,8	101,3 mm
Tensão admissível da tubuladura		σ'_{all}	136,9	136,9	133,3 N/mm ²
Limite exterior de reforço.	$e_A = \left(1 + 0,25 \frac{v_A}{90^\circ}\right) \cdot \sqrt{(d_{Ai} + s_{A0}) \cdot s_{A0}}$	e_A	31,8	31,8	33,1 mm
Comprimento disponível colector		e_G	36,2	25,4	21,7 mm
Comprimento da tubuladura, int		l_{A2}	0	0	0 mm

Chapa reforço (Tc máx 250):

Largura da chapa reforço		b_s	0	0	0 mm
Espessura nominal		s_{Se}	0	0	0 mm
Tolerância de chapa (fabricante)		c_1	0	0	0
Margem corrosão (TRD 300, pag.5)		c_2	0	0	0
Espessura s/ margens			0	0	0 mm
Material		S235JR			
Norma		EN10025			
Tensão admissível da chapa de reforço		σ''_{all}	103,8	103,8	103,8 N/mm ²
Factor de eficiência da chapa (TRD 301, pag.13, tab. 2)		f_1	0,7	0,7	0,7
Área carregada	$A_{pl} = \frac{d_i}{2} \cdot \left(e_G + \frac{d_{Ae}}{2}\right) + \frac{d_{Ai}}{2} \cdot (e_A - s_V)$	A_{pl}	13549	8739	6059 mm ²
Área resistente:					
Colector	$A_{\sigma I} = s_V \cdot e_G$	$A_{\sigma I}$	223,0	120,3	92,5 mm ²
Tubuladura	$A'_{\sigma I} = s_{A0} + (s_V + e_A + l_{A2})$	$A'_{\sigma I}$	179,5	142,6	168,3 mm ²
Chapa de reforço.	$A''_{\sigma I} = b_s \cdot s_{Se}$	$A''_{\sigma I}$	0	0	0 mm ²
Valor de X		X	54838	35827	34600 N
	$\left(\sigma_{all} - \frac{p}{2}\right) \cdot A_{\sigma I} + \left(\sigma'_{all} - \frac{p}{2}\right) \cdot A'_{\sigma I} + \left(\sigma''_{all} - \frac{p}{2}\right) \cdot f_1 \cdot A''_{\sigma I}$				
Valor de Y		Y	16259	10487	7271 N
	$p \cdot A_{pl}$				
Verifica se X > Y			Verifica	Verifica	Verifica

14.3.2.8 Aberturas adjacentes nos coletores – TRD 301

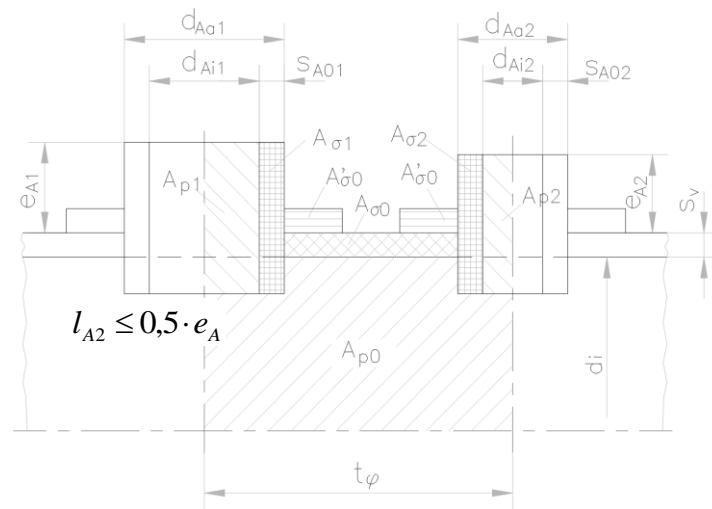


Figura 133 – Aberturas adjacentes nos coletores.

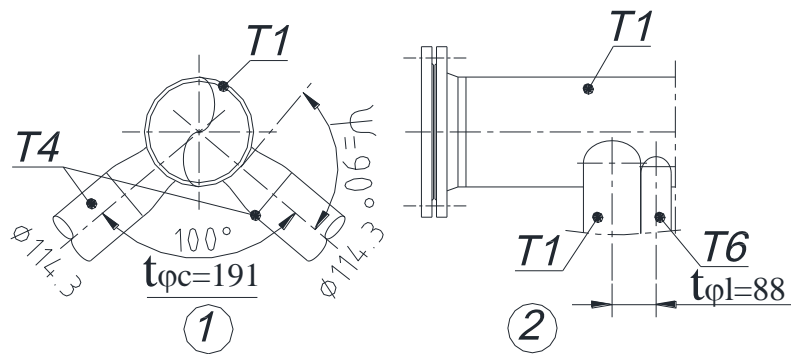


Figura 134 – Aberturas adjacentes circunferenciais e longitudinais nos coletores.

		1	2
Incl. relativ. ao eixo long. coletor (min 45°)	ψ_A	90	90 °
Pressão de cálculo	p	1,2	1,2 N/mm ²
Temperatura de cálculo	T_c	240,7	240,7 °C

Coletor:

Material		A106Gr.B	
Norma		ASTM	
Diâmetro exterior do coletor	d_a	219,1	219,1 mm
Espessura nominal do coletor	s_e	8,18	8,18 mm
Tolerância geo. da parede do tubo	$c_1 = 0,125 \cdot s_e$	c_1	1,02
Margem de corrosão (TRD 300, pag.5)		c_2	1
Espessura sem margens	$s_v = s_e - c_1 - c_2$	s_v	6,2
Diâmetro interior de cálculo	$d_i = d_a - 2 \cdot s_v$	d_i	206,8
Tensão admissível do coletor		σ_{all}	133,3
Limite exterior de reforço	$e_G = \sqrt{(d_i + s_v) \cdot s_v}$	e_G	36,2

Tubuladura 1:

Material da tubuladura	A106Gr.B		
Norma	ASTM		
Diâmetro exterior tubuladura	d_{Ae1}	114,3	114,3 mm
Espessura nominal	s_{Ae1}	6,02	6,02 mm
Tolerância geo. da parede do tubo	$c_1 = 0,125 \cdot s_e$	c_1	0,75
Margem de corrosão (TRD 300, pag.5)		c_2	1
Espessura s/ margens	$s_{A01} = s_{Ae1} - c_1 - c_2$	s_{A01}	4,3
Diâmetro interior de calculo	$d_{Ai1} = d_{Ae1} - 2 \cdot s_{A01}$	d_{Ai1}	105,8
Tensão admissível da tubuladura 1		σ'_{all}	133,3
Limite exterior de reforço	$e_{A1} = \left(1 + 0,25 \frac{v_A}{90^\circ}\right) \cdot \sqrt{(d_{Ai} + s_{A01}) \cdot s_{A01}}$	e_{A1}	27,1
Limite interior de reforço		l_{A1}	0

Tubuladura 2:

Diâmetro exterior tubuladura	d_{Ae2}	114,3	60,3 mm
Espessura nominal	s_{Ae2}	6,02	4 mm
Tolerância geo. da parede do tubo	$c_1 = 0,125 \cdot s_e$	c_1	0,75
Margem de corrosão (TRD 300, pag.5)		c_2	1
Espessura s/ margens	$s_{A02} = s_{Ae2} - c_1 - c_2$	s_{A02}	4,3
Diâmetro interior de calculo	$d_{Ai2} = d_{Ae2} - 2 \cdot s_{A02}$	d_{Ai2}	105,8
Material da tubuladura	A106Gr.B		
Norma	ASTM		
Tensão admissível da tubuladura 2		σ''_{all}	133,3
Limite exterior de reforço	$e_{A2} = \left(1 + 0,25 \frac{v_A}{90^\circ}\right) \cdot \sqrt{(d_{Ai} + s_{A02}) \cdot s_{A02}}$	e_{A2}	27,1
Limite interior de reforço		l_{A2}	0
Distância entre centros das tubuladuras			
	Longitud.	t_{pl}	0
	Circunf.	t_{pc}	191
	Total	t_p	191
Angulo c/ eixo longitudinal		φ_A	100

VERIFICAÇÃO DA VIZINHANÇA

Valor de X

$$\left(\frac{d_{Ai1}}{2} + s_{A01}\right) + \left(\frac{d_{Ai2}}{2} + s_{A02}\right) + 2\sqrt{(d_i + s_v) \cdot s_v}$$

X 186,72 159,72

As tubuladuras são adjacentes se $t_p < X$
(verificar se necessita de reforço)

Não Verificar Verificar

Chapa reforço (Tc máx 250):

Largura da chapa reforço	b_s	0 mm
Espessura nominal	s_{Se}	0 mm
Tolerância de espessura (fabricante)	c_1	0 mm
Margem de corrosão (TRD 300, pag.5)	c_2	0 mm
Espessura s/ margens		0 mm

Material			S235JR
Norma			EN10025
Tensão admissível do reforço	σ'''_{all}		103,8 N/mm ²
Factor de eficiência da chapa (TRD 301, pag.13, tab. 2)	f_1		0,7
Área carregada			
Colector	$A_{p0} = t_\varphi \cdot d_i$	A_{p0}	9099 mm ²
Tubuladura 1	$A_{p1} = (e_{A1} + s_v) \cdot \left(\frac{d_{Ai1}}{2}\right)$	A_{p1}	1758 mm ²
Tubuladura 2	$A_{p2} = (e_{A2} + s_v) \cdot \left(\frac{d_{Ai2}}{2}\right)$	A_{p2}	586 mm ²
Área resistente:			
Colector	$A_{\sigma0} = s_v \cdot \left(t_\varphi - \frac{d_{Ai1}}{2} - \frac{d_{Ai2}}{2}\right)$	$A_{\sigma0}$	4 mm ²
Tubuladura 1	$A_{\sigma1} = s_{A01} \cdot (s_v + e_{A1} + l_{A1})$	$A_{\sigma1}$	142 mm ²
Tubuladura 2	$A_{\sigma2} = s_{A02} \cdot (s_v + e_{A2} + l_{A2})$	$A_{\sigma2}$	53 mm ²
Chapa de reforço.	$A'_{\sigma0} = b_s \cdot s_{se}$	$A'_{\sigma0}$	0 mm ²
Valor de X			
	$\left(\sigma_{all} - \frac{p}{2}\right) \cdot A_{\sigma0} + \left(\sigma_{all} - \frac{p}{2}\right) \cdot A_{\sigma1} + \left(\sigma_{all} - \frac{p}{2}\right) \cdot A_{\sigma2} + \left(\sigma_{all} - \frac{p}{2}\right) \cdot f_1 \cdot A'_{\sigma0}$	X	24797
Valor de Y	$\frac{p}{2} \cdot [A_{p0}(1 + \cos^2 \varphi_A) + 2 \cdot A_{p1} + 2 \cdot A_{p2}]$	Y	13731
Verifica se $X_1 > Y_1$ (não necessita de reforço)			Verifica

14.3.3 Economizador

14.3.3.1 Código de cálculo TRD

As fórmulas usadas para o cálculo de construção do economizador que é exemplificado são as seguintes:

- Espessura de cálculo, TRD301:

-Tubos e coletores:

$$s_v = s_e - c_1 - c_2 \quad (55)$$

$$s_{A0} = s_{Ae} - c_1 - c_2 \quad (56)$$

$$s_o = \frac{d_i \cdot p}{(2 \cdot \sigma_{all} - p) \cdot V_N} \quad (57)$$

ou

$$s_o = \frac{d_a \cdot p}{(2 \cdot \sigma_{all} - p) \cdot V_N + 2 \cdot p} \quad (58)$$

- Verificação da resistência das aberturas, TRD301:

-Verificação da vizinhança:

$$t_\varphi \geq \left(\frac{d_{Ai1}}{2} + s_{A01}\right) + \left(\frac{d_{Ai2}}{2} + s_{A02}\right) + 2\sqrt{(d_i + s_v) \cdot s_v} \quad (59)$$

- Aberturas isoladas

$$\left(\sigma_{all} - \frac{p}{2}\right) \cdot A_{ct} + \left(\sigma'_{all} - \frac{p}{2}\right) \cdot A'_{ct} + \left(\sigma''_{all} - \frac{p}{2}\right) \cdot f_1 \cdot A''_{ct} \geq p \cdot A_{pl} \quad (60)$$

- Filas de tubos (coletores), TRD301:

-Eficiência de ligamento:

$$V_L = \frac{2(t_\varphi - d_{Aa})}{(1 + \cos^2 \psi_A) \cdot t_\varphi} \leq 1 \quad (61)$$

-Cálculo de espessuras:

$$s_v = \frac{d_i \cdot p}{(2\sigma_{all} - p) \cdot V_L} \quad (62)$$

-Limite de reforço na virola:

$$e_G = \sqrt{(d_i + s_v) \cdot s_v} \quad (63)$$

-Limite de reforço nas tubuladuras:

$$e_A = \left(1 + 0,25 \frac{\psi_A}{90^\circ}\right) \cdot \sqrt{(d_{Ai} + s_{A0}) \cdot s_{A0}} \quad (64)$$

- Fundos copados, TRD303:

-Calote esférica:

$$s_v = r_{wi} \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{2 \cdot p}{(2 \cdot \sigma_{all} - p) V_N}} - 1 \right) \quad (65)$$

-Cantos de concordância:

$$s_k = \frac{p \cdot d_a \cdot \beta_K}{4 \cdot V_N \cdot \sigma_{all}} \quad (66)$$

14.3.3.2 Temperaturas e características dos materiais – TRD 301

VARIÁVEIS DE CÁLCULO

Pressão de cálculo	p	1,2 N/mm ²	12 bar (rel)
Temperatura do vapor saturado	T ₁	464 K	190,7 °C
Espessura dos tubos do feixe tubular	s _e		3,6 mm
Espessura das curvas feixe tubular	s _e		3,6 mm
Espessura dos colectores	s _e		5,16 mm
Espessura do fundo copado dos colectores	s _e		5,16 mm

TEMPERATURAS DE CÁLCULO (TRD 300, pag.3, tab.4)

Superfícies aquecidas por convecção	T _c =T ₁ +2 x Se + 15	min = 250	= 250,0 °C
-------------------------------------	---	-----------	------------

TENSÕES ADMISSÍVEIS

		Colectores, tubuladuras e curvas do feixe	Fundo copado dos colectores	Tubos do feixe tubular	Reforços	
Material		A106Gr.B	A234WPB	P235GH	S235JR	
Norma		ASTM	ASTM	EN10216-2	EN10025	
Temperatura de cálculo	T_c	250	250	250	250	°C
Tensão de rotura à temp. ambiente (Anexo D)	σ_s	415	415	360	340	N/mm ²
Coeficiente de Segurança (TRD 300, pag. 4, tab. 5)		2,4	2,4	2,4	2,4	
Tensão correspondente		172,9	172,9	150	142	N/mm²
Limite Elasticidade à temp. de cálculo (Anexo D)	$\sigma_{0,2}$	198	198	150	143	N/mm ²
Coeficiente de Segurança (TRD 300, pag. 4, tab. 5)		1,5	1,5	1,5	1,5	
Tensão correspondente		132,0	132,0	100,0	95,3	N/mm²
Tensão de Cálculo	σ_{all}	132,0	132,0	100,0	95,3	N/mm²

14.3.3.3 Tubos feixe tubular e de ligação aos colectores – TRD 301

Pressão de cálculo		p	1,2 N/mm ²
Material			P235GH
Norma			EN10216-2
Temperatura de cálculo		T_c	250 °C
Tensão admissível à temp. de cálculo		σ_{all}	100,0 N/mm ²
Diâmetro exterior da tubuladura		d_e	38 mm
Espessura adoptada		s_e	3,6 mm
Coeficiente de soldadura (decreto lei 211/99 - ponto 7.2)		V_N	1
Esp. min.da parede do tubo sem tolerância	$s_o = \frac{d_a \cdot p}{(2 \cdot \sigma_{all} - p) \cdot V_N + 2 \cdot p}$	s_o	0,23 mm
Tolerância geo. da parede do tubo	$c_1 = 0,125 \cdot s_e$	c_1	0,45 mm
Tolerância de corrosão (TRD 300, pag.5)		c_2	1 mm
Esp. da parede tubo incluindo tolerâncias	$s_v = s_e - c_1 - c_2$	s_v	2,15 mm
Racio d_e/d_i (Máximo = 1,6)			1,23

14.3.3.4 Tubos com curvatura – TRD 301

Calculo desnecessário se $d_{e\leq} \leq 70\text{mm}$ (TRD 301 anexoll)

14.3.3.5 Coletores

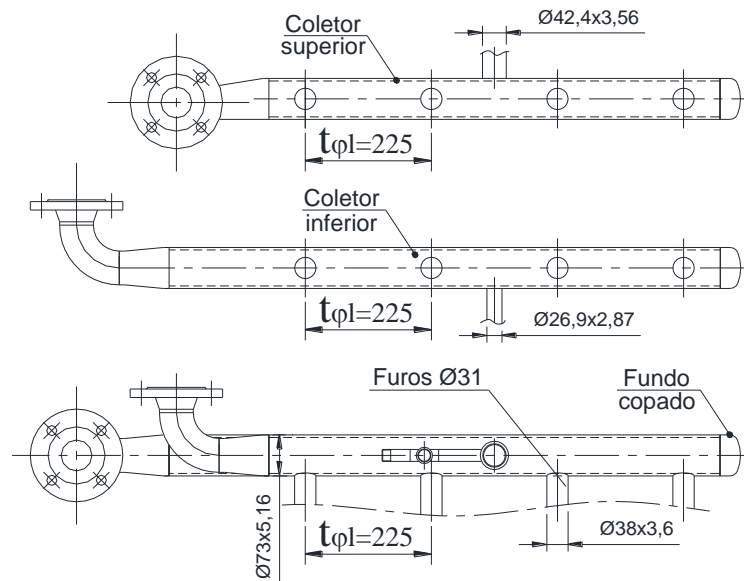


Figura 135 – Coletor superior e inferior do economizador.

14.3.3.5.1 Tubo – TRD 301

Pressão de cálculo	p	1,2 N/mm ²
Material		A106Gr.B
Norma		ASTM
Temperatura de cálculo	T_c	250 °C
Tensão admissível à temp. de cálculo do tubo	σ_{all}	132,0 N/mm ²
Diâmetro exterior do tubo	d_e	73 mm
Espessura adoptada	s_e	5,16 mm
Coefficiente de soldadura	V_N	1
Esp. min.da parede do tubo sem tolerância	$s_o = \frac{d_a \cdot p}{(2 \cdot \sigma_{all} - p) \cdot V_N + 2 \cdot p}$	0,33 mm
Tolerância geo. da parede do tubo	$c_1 = 0,125 \cdot s_e$	0,65 mm
Tolerância de corrosão (TRD 300, pag.5)	c_2	1 mm
Esp. da parede tubo incluindo tolerâncias	$s_v = s_e - c_1 - c_2$	3,52 mm
Racio d_e/d_i (Máximo = 1,6)		1,16

14.3.3.5.2 Aberturas nos coletores – TRD 301

Incl. relativ. ao eixo long. colector (min 45°)	ψ_A	90 °
Pressão de cálculo	p	1,2 N/mm ²
Material		A106Gr.B
Norma		ASTM
Temperatura de cálculo	T_c	250 °C
Tensão admissível à temp. de cálculo	σ_{all}	132,0 N/mm ²

Diâmetro exterior		d_a	73 mm
Espessura nominal		s_e	5,16 mm
Tolerância geo. da parede do tubo	$c_1 = 0,125 \cdot s_e$	c_1	0,65 mm
Margem de corrosão (TRD 300, pag.5)		c_2	1 mm
Espessura s/ margens	$s_v = s_e - c_1 - c_2$	s_v	3,52 mm
Diâmetro interior de calculo	$d_i = d_a - 2 \cdot s_v$	d_i	66,0 mm
Diâmetro dos furos		d_{Aa}	31 mm
Dist. entre centros das aberturas:			
Longitudinal (Figura 135)		$t_{\phi l}$	225 mm
Circunferencial		$t_{\phi c}$	0 mm
Total		t_{ϕ}	225 mm
Ângulo com eixo longitudinal		φ_A	0 °
Eficiência do ligamento	$V_L = \frac{2(t_{\phi} - d_{Aa})}{(1 + \cos^2 \varphi_A)t_{\phi}} \leq 1$	V_L	0,862
Espessura necessária	$s_0 = \frac{d_i \cdot p}{(2\sigma_{all} - p) \cdot V_L}$	s_0	0,35 mm
$s_v \geq$ esp. necessária			Verifica

14.3.3.5.3 Aberturas isoladas nos coletores – TRD 301

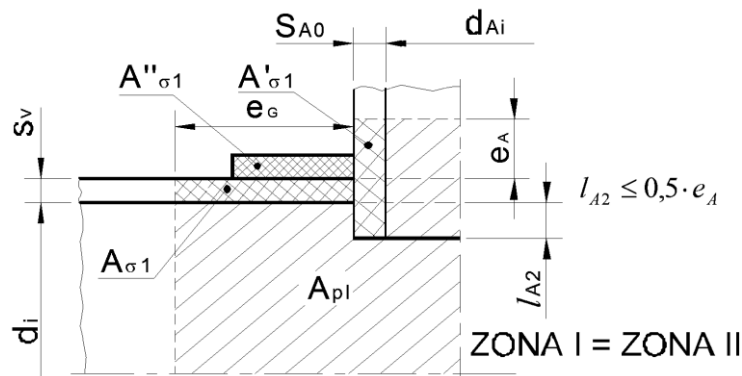


Figura 136 – Aberturas isoladas nos coletores.

Incl. relativ. ao eixo long. colector (min 45°)	ψ_A	90	90	90 °
Pressão de cálculo	p	1,2	1,2	1,2 N/mm ²
Temperatura de cálculo	T_c	250	250	250 °C

Colector:

Material		A106Gr.B			
Norma		ASTM			
Diâmetro exterior do colector		d_a	73	73	73 mm
Espessura nominal		s_e	5,16	5,16	5,16 mm
Tolerância geo. da parede do tubo	$c_1 = 0,125 \cdot s_e$	c_1	0,65	0,6	0,6
Margem de corrosão (TRD 300, pag.5)		c_2	1	1	1
Espessura s/ margens	$s_v = s_e - c_1 - c_2$	s_v	3,52	3,5	3,5 mm

Diâmetro interior de calculo	$d_i = d_a - 2 \cdot s_v$	d_i	66,0	66,0	66,0 mm
Tensão admissível do coletor		σ_{all}	132,0	132,0	132,0 N/mm ²
Limite de reforço	$e_G = \sqrt{(d_i + s_v) \cdot s_v}$	e_G	15,6	15,6	15,6 mm

Tubuladuras:

Material		P235GH	A 106Gr.B		
Norma		EN10216-2	ASTM		
Diâmetro exterior		d_{Ae}	38	42,4	26,9 mm
Espessura nominal		s_{Ae}	3,6	3,56	2,87 mm
Tolerância geo. da parede do tubo	$c_1 = 0,125 \cdot s_e$	c_1	0,45	0,45	0,36
Margem corrosão (TRD 300, pag.5)		c_2	1	1	1
Espessura sem margens	$s_{A0} = s_{Ae} - c_1 - c_2$	s_{A0}	2,15	2,1	1,5 mm
Diâmetro interior de cálculo	$d_{Ai} = d_{Ae} - 2 \cdot s_{A0}$	d_{Ai}	33,7	38,2	23,9 mm
Tensão admissível da tubuladura		σ'_{all}	100,0	132,0	132,0 N/mm ²
Limite exterior de reforço.	$e_A = \left(1 + 0,25 \frac{\psi_A}{90^\circ}\right) \cdot \sqrt{(d_{Ai} + s_{A0}) \cdot s_{A0}}$	e_A	10,97	11,5	7,7 mm
Comprimento disponível coletor		e_G	15,63	15,63	15,63 mm
Comprimento da tubuladura, int		l_{A2}	0	0	0 mm

Chapa reforço (Tc máx 250):

Largura da chapa reforço		b_s	0	0	0 mm
Espessura nominal		s_{Se}	0	0	0 mm
Tolerância de chapa (fabricante)		c_1	0	0	0
Margem corrosão (TRD 300, pag.5)		c_2	0	0	0
Espessura s/ margens			0	0	0 mm
Material			S235JR		
Norma			EN10025		
Tensão admissível do reforço		σ''_{all}	95,3	95,3	95,3 N/mm ²
Factor de eficiência da chapa (TRD 301, pag.13, t		f_1	0,7	0,7	0,7
Área carregada		A_{pl}	1386	1502	1094 mm ²
Área resistente:					
Coletor	$A_{\sigma t} = s_v \cdot e_G$	$A_{\sigma t}$	54,9	54,9	54,9 mm ²
Tubuladura	$A'_{\sigma t} = s_{A0} + (s_v + e_A + l_{A2})$	$A'_{\sigma t}$	31	32	17 mm ²
Chapa de reforço.	$A''_{\sigma t} = b_s \cdot s_{se}$	$A''_{\sigma t}$	0	0	0 mm ²
Valor X					
	$\left(\sigma_{all} - \frac{p}{2}\right) \cdot A_{\sigma t} + \left(\sigma'_{all} - \frac{p}{2}\right) \cdot A'_{\sigma t} + \left(\sigma''_{all} - \frac{p}{2}\right) \cdot f_1 \cdot A''_{\sigma t}$	X	10315	11402	9454
Valor Y	$p \cdot A_{pl}$	Y	1664	1802	1312
Verifica se X > Y			Verifica	Verifica	Verifica

14.3.3.5.4 Aberturas adjacentes nos coletores – TRD 301

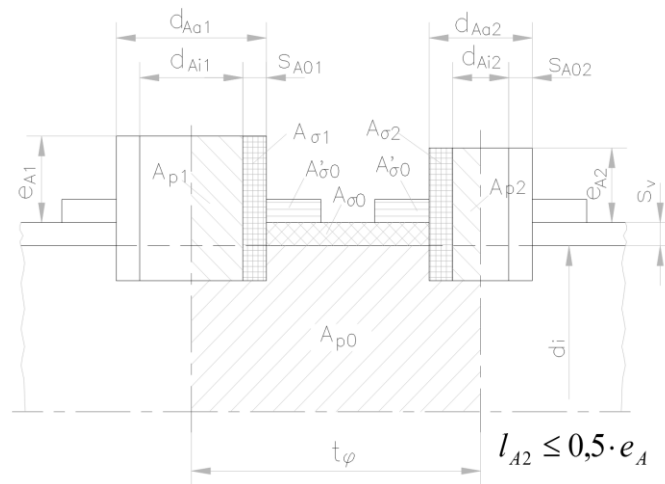


Figura 137 – Aberturas adjacentes nos coletores.

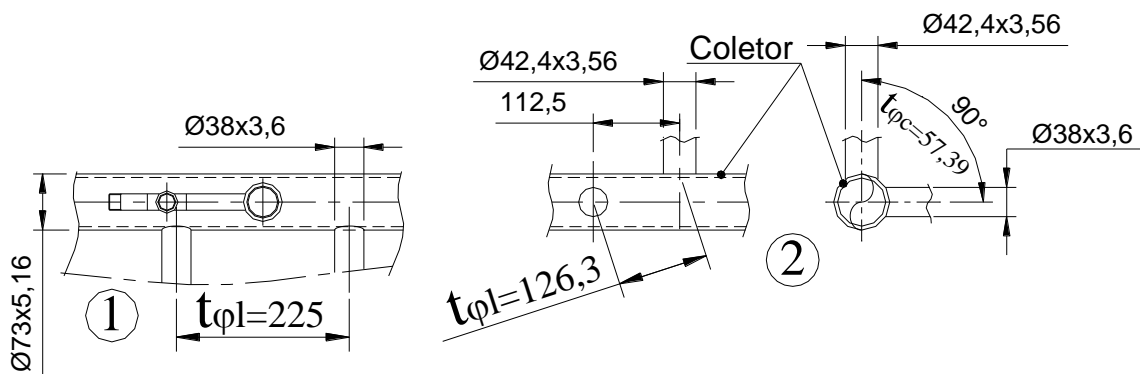


Figura 138 – Aberturas adjacentes nos coletores.

		1	2
Incl. relativ. ao eixo long. colector (min 45°)	ψ_A	90	90 °
Pressão de cálculo	p	1,2	1,2 N/mm ²
Temperatura de cálculo	T_c	250	250 °C

Coletor:

Material	A106Gr.B			
Norma	ASTM			
Diâmetro exterior do coletor	d_a	73	73 mm	
Espessura nominal	s_e	5,16	5,16 mm	
Tolerância geo. da parede do tubo	$c_1 = 0,125 \cdot s_e$	c_1	0,65	0,65
Margem de corrosão (TRD 300, pag.5)		c_2	1	1
Espessura sem margens	$s_v = s_e - c_1 - c_2$	s_v	3,52	3,52 mm
Diâmetro interior de cálculo	$d_i = d_a - 2 \cdot s_v$	d_i	66,0	66,0 mm
Tensão admissível		σ_{all}	132,0	132,0 N/mm ²
Limite exterior de reforço.	$e_G = \sqrt{(d_i + s_v) \cdot s_v}$	e_G	15,6	15,6 mm

Tubuladura 1:

Diâmetro exterior tubuladura 1	d_{Ae1}	38	38 mm
Espessura nominal	s_{Ae1}	3,6	3,6 mm
Tolerância geo. da parede do tubo	$c_1 = 0,125 \cdot s_e$	c_1	0,45
Margem de corrosão (TRD 300, pag.5)		c_2	1
Espessura s/ margens	$s_{A01} = s_{Ae1} - c_1 - c_2$	s_{A01}	2,15
Diâmetro interior de calculo	$d_{Ai1} = d_{Ae1} - 2 \cdot s_{A01}$	d_{Ai1}	33,70
Material da tubuladura			P235GH
Norma			EN10216-2
Tensão admissível da tubuladura 1		σ'_{all}	100,0
Limite exterior de reforço	$e_{A1} = \left(1 + 0,25 \frac{\psi_A}{90^\circ}\right) \cdot \sqrt{(d_{Ai} + s_{A01}) \cdot s_{A01}}$	e_{A1}	10,97
Limite interior de reforço		l_{A2}	0

Tubuladura 2:

Diâmetro exterior tubuladura 2	d_{Ae2}	38	42,2 mm
Espessura nominal	s_{Ae2}	3,6	3,56 mm
Tolerância geo. da parede do tubo	$c_1 = 0,125 \cdot s_e$	c_1	0,45
Margem de corrosão (TRD 300, pag.5)		c_2	1
Espessura s/ margens	$s_{A02} = s_{Ae2} - c_1 - c_2$	s_{A02}	2,12 mm
Diâmetro interior de calculo	$d_{Ai2} = d_{Ae2} - 2 \cdot s_{A02}$	d_{Ai2}	33,70
Material da tubuladura			P235GH A106Gr.B
Norma			EN10216-2 ASTM
Tensão admissível da tubuladura 2		σ''_{all}	100,0
Limite exterior de reforço	$e_{A2} = \left(1 + 0,25 \frac{\psi_A}{90^\circ}\right) \cdot \sqrt{(d_{Ai} + s_{A02}) \cdot s_{A02}}$	e_{A2}	10,97
Limite interior de reforço		l_{A2}	0
Distância entre centros das tubuladuras			
Longitud.	$t_{\phi l}$	225	126,3 mm
Circunf.	$t_{\phi c}$	0	57,39 mm
	t_{ϕ}	225	183,69 mm
Angulo c/ eixo longitudinal	ϕ_A	0	27 °
Valor de X			
$\left(\frac{d_{Ai1}}{2} + s_{A01}\right) + \left(\frac{d_{Ai2}}{2} + s_{A02}\right) + 2 \cdot \sqrt{(d_i + s_v) \cdot s_v}$	X	69,26	71,36
As tubuladuras são adjacentes se $t_{\phi} < X$?		Não Verificar	Não Verificar

14.3.3.5.5 Fundos copados – TRD 303

- Calote esférica.

Pressão de cálculo	p	1,2 N/mm ²
Material		A234WPB

Norma		ASTM
Temperatura de cálculo	T_c	250 °C
Tensão admissível temp. cálculo	σ_{all}	132,0 N/mm ²
Diâmetro exterior	d_a	73,0 mm
Raio interior da calote esférica	r_{wi}	58,40 mm
Razão r_{wi}/d_a (deve ser ≤ 1)		0,80
Coefficiente soldadura (decreto lei 211/99 - ponto 7.2)	V_N	1
Espessura cálculo s/ margens $s_v = r_{wi} \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{2 \cdot p}{(2 \cdot \sigma_{all} - p) V_N}} - 1 \right) s_v$		0,27 mm
Margem de corrosão (TRD 300, pag.5)	c_2	1
Esp. mínima certificada após enformação $s_0 = s_v + c_2$	s_0	1,27 mm
<ul style="list-style-type: none"> • Cantos de concordância esférica-cilíndrica. 		
Valor de s_v/d_a		0,0036
Coefficiente β_k (TRD 303, pag.15,fig.16)	β_k	3,7
Espessura cálculo s/ margens $s_k = \frac{p \cdot d_a \cdot \beta_k}{4 \cdot V_N \cdot \sigma_{all}}$	s_k	0,61 mm
Margem de corrosão	c_2	1
Esp. mínima certificada após enformação $s_0 = s_v + c_2$	s_0	1,61 mm
<ul style="list-style-type: none"> • Rugas nos cantos de concordância. 		
Valor de s_k/d_a	0,008	
Verificação desnecessária, pois $s_k/d_a > 0,005$		

14.4 Anexo D – Material de construção

14.4.1 Ante-fornalha

Material de base:

	Norma	Material
• Coletores	ASTM	A 106 Gr. B, Sch.40
• Feixe tubular da ante-fornalha	ASTM	A 106 Gr. B, Sch.40
	EN 10216	P235GH TC1
• Tubuladuras ligação à caldeira	ASTM	A 106 Gr. B, Sch.40
• Flange W.N./R.F.	DIN2633	C22.8
• Flange cega	DIN2527	C22.8 / Rst 37.2

As normas acima referidas indicam a composição química e propriedades mecânicas dos materiais usados no fabrico da caldeira, ver tabela 5.

Tabela 5 – Características dos materiais; [N/mm²] [28].

Material	Tensão de rotura σ_s	Limite elástico temperatura ambiente $\sigma_{0,2}$ (20 °C)	Limite elástico temperatura cálculo $\sigma_{0,2}$ (210,7 °C)	Limite elástico temperatura cálculo $\sigma_{0,2}$ (240,7 °C)
ASTM A106 Gr. B e A234 Gr. WPB	415	240	205,3	199,9
P235GH TC1	360	235	-----	153,7
S235JR	340	235	155,7	-----

Material de adição:

- Eléctrodo revestido (SER): AWS A5.1 E 7018.1 Ø 2,0
- Eléctrodo revestido (SER): AWS A5.1 E 7018.1 Ø 2,5
- Eléctrodo revestido (SER): AWS A5.1 E 7018.1 Ø 3,2

A ante-fornalha a construir será soldada conforme procedimentos e soldadores qualificados de acordo com as normas EN ISO 15614-1 e NP EN 287-1, respetivamente.

14.4.2 Caldeira

Material de base:

	Norma	Material
• Virola ext., corpo de pressão	EN 10 028-2	P265GH

- Virola, caixa de inversão imersa EN 10 028-2 P265GH
- Espelhos, corpo de pressão EN 10 028-2 P265GH
- Espelho, caixa de inversão EN 10 028-2 P265GH
- Tubo fornalha, liso EN 10 028-2 P265GH
- Esquadros EN 10 028-2 P265GH
- Escoras, ligação caixa/tampo traz. EN 10 025 S235JR
- Feixe tubular EN 10 216-2 Tubo s/c P235GHTC1
- Tubuladuras EN 10 216-2 Tubo s/c P235GHTC1
- Porta de visita EN 10 028-2 P265GH
- Pernos (Porta de visita) EN 10 025 S235JR
- Flanges DIN 17100 e DIN 17243 Rst37.2 e C22.8

As normas acima referidas indicam a composição química e propriedades mecânicas dos materiais usados no fabrico da caldeira, ver tabela 6.

Tabela 6 – Características dos materiais; [N/mm²] [28].

Material	Tensão de rotura σ_s	Limite elástico temperatura ambiente	Limite elástico temperatura cálculo	Limite elástico temperatura cálculo	Limite elástico temperatura cálculo	Limite elástico temperatura cálculo
		$\sigma_{0,2}$ (20°C)	$\sigma_{0,2}$ (210,7°C)	$\sigma_{0,2}$ (240,7°C)	$\sigma_{0,2}$ (250°C)	$\sigma_{0,2}$ (300°C)
P265GH	410	255	193,6	184	-----	166
P235GHTC1	360	235	165,7	-----	150	-----
S235JR	360	225	150,9	-----	-----	-----

Material de adição:

- Eléctrodo revestido (SER): AWS A5.18 E 70S-6 \varnothing 1,2
- Eléctrodo revestido (SER): AWS A5.1 E 7018.1 \varnothing 2,5
- Eléctrodo revestido (SER): AWS A5.1 E 7018.1 \varnothing 3,2
- Eléctrodo revestido (SER): AWS A5.1 E 7018.1 \varnothing 4,0

O gerador de vapor a construir será soldado conforme procedimentos e soldadores qualificados de acordo com as normas EN ISO 15614-1 e NP EN 287-1, respetivamente.

14.4.3 Economizador

Material de base:

	Norma	Material
• Tubos do feixe tubular	EN 10216-2	Tubo s/c P235GH TC1
• Espelhos	EN 10025	S235JR
• Coletores, tubuladuras e curvas	ANSI B36.10	Tubo s/c ASTM A106 Gr.B
• Fundos copados	ASTM	A234WPB (Sch.40)
• Flanges	DIN17243/DIN EN10222-2	C22.8 / P250GH

As normas acima referidas indicam a composição química e propriedades mecânicas dos materiais usados no fabrico do economizador, ver tabela 7.

Tabela 7 – Características dos materiais; [N/mm²] [28].

Material	Tensão de rotura σ_s	Limite elástico temperatura ambiente	Limite elástico temperatura cálculo
		$\sigma_{0,2}$ (20 °C)	$\sigma_{0,2}$ (250 °C)
ASTM A106 Gr. B e A234 Gr. WPB	415	240	198
P235GH TC1	360	235	150
S235JR	340	235	143

Material de adição:

- Eléctrodo revestido (SER): AWS A5.1 E 7018.1 \varnothing 2,5.
- CARBOROD Mo \varnothing 2.

O economizador a construir será soldado conforme procedimentos qualificados de acordo com a norma EN ISO 15614-1 e por soldadores qualificados de acordo com a norma NP EN 287-1.

