

Optimização de uma célula de combustão em pré-mistura numa caldeira



BOSCH Termotecnologia S.A.

João André Freire de Gonçalves Pereira

Relatório do Projecto Final do MIEM

Orientador na Empresa: Engenheiro Victor Manuel dos Santos Pinho
Orientador na FEUP: Professor Carlos Manuel Coutinho Tavares de Pinho



FEUP

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

Fevereiro 2008

*“Para ser grande, sê inteiro: nada
Teu exagera ou excluí.
Sê todo em cada coisa. Põe quanto és
No mínimo que fazes.
Assim em cada lago a lua toda
Brilha, porque alta vive”*

Ricardo Reis

Nomenclatura

<i>Unidades (S.I.)</i>	<i>Denominação</i>	<i>Símbolo</i>
$\text{kJ} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$	Calor específico da água = $4.186 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$	C_p
p.p.m.; %	Teor de monóxido de carbono dos produtos de combustão isentos de ar e de vapor de água	(CO)
p.p.m.; %	Concentração de CO medida na amostra recolhida durante o ensaio de combustão	$(\text{CO})_M$
%	Concentração de CO_2 medida na amostra recolhida durante o ensaio de combustão	$(\text{CO}_2)_M$
%	Teor máximo de dióxido de carbono dos produtos de combustão isentos de ar e de vapor de água	$(\text{CO}_2)_N$
$\text{kJ} \cdot \text{m}^{-3}$	Poder calorífico inferior do gás seco utilizado	H_i
$\text{kJ} \cdot \text{m}^{-3}$	Poder calorífico superior do gás seco utilizado	H_s
$\text{kJ} \cdot \text{m}^{-3}$	Poder calorífico inferior	P.C.I.
$\text{kJ} \cdot \text{m}^{-3}$	Poder calorífico inferior	P.C.I.
kW	Potência térmica	$\dot{Q}$
Kg/s	Caudal mássico de água	$\dot{m}$
K	Temperatura absoluta	T
$\text{kJ} \cdot \text{m}^{-3}$	Índice de Wobbe	W
$\text{kJ} \cdot \text{m}^{-3}$	Índice de Wobbe inferior	W_i
$\text{kJ} \cdot \text{m}^{-3}$	Índice de Wobbe superior	W_s



%	Rendimento da combustão	η
---	-------------------------	--------

Glossário

- EWH - sigla relativa ao departamento de desenvolvimento da BOSCH Termotecnologia S.A. Aveiro
- SWH - sigla relativa ao departamento de vendas da BOSCH Termotecnologia S.A. Aveiro
- Exaustão natural - exaustão sem recurso a meios mecânicos
- Exaustão estanque - exaustão dos produtos utilizados numa combustão estanque, ou seja, a queima é feita com recurso ao exterior da habitação
- Exaustão ventilada - exaustão com recurso a meios mecânicos
- GZT - sigla dada à caldeira actualmente produzida na BOSCH Termotecnologia S.A.
- HRD - sigla dada ao modelo de caldeira anterior ao GZT
- AQS=AAS - sigla referente às águas quentes sanitárias
- AC - sigla referente ao aquecimento central
- PCB - placa electrónica do aparelho
- Ar secundário: ar necessário para realização da combustão, admitido para a zona de combustão, após a combustão com o ar primário ter começado
- Ar primário: ar misturado com combustível para atingir determinadas características antes de ser admitido na câmara de combustão
- Calor específico: calor necessário para elevar em 1 °C a temperatura de uma unidade de massa de uma substância

Resumo

O presente relatório reflecte o trabalho realizado no departamento de Desenvolvimento da empresa Bosch Termotecnologia S.A., no decorrer do estágio curricular do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto com a duração de seis meses.

O objectivo principal do trabalho relacionou-se com o desenvolvimento de uma caldeira com uma célula de combustão com queima em pré-mistura que garantisse melhor rendimento térmico do que com a tradicional, na sequência de novas exigências (a nível do rendimento energético destes aparelhos), impostas por alguns mercados. Esta alteração garantirá a sobrevivência da caldeira produzida na fábrica de Aveiro a longo prazo, dado que este tipo de exigências nos aparelhos vão abrangendo todos os anos mais países.

Neste estágio validou-se o conceito condensação existente nos esquentadores World 2 aplicado a uma caldeira e também se obteve mais caudal de água com a aplicação de circuitos de água paralelos.

As alterações previstas a nível estrutural do aparelho, relativamente ao actual, são respeitantes a quase todos os componentes, excepto bloco hidráulico e vaso de expansão.

O estudo deste novo modelo envolveu:

- Análise teórica do novo modelo;
- Plano de ensaios a realizar com os aparelhos;
- Construção de protótipos e realização de ensaios.

Os benefícios deste estágio foram, acima de tudo, um investimento de ambas as partes: pessoalmente, o primeiro contacto com o mundo laboral; para a empresa, a avaliação do potencial de melhoria que existe nos aparelhos existentes e produzidos por esta.

Abstract

The present report concerns the work that has been carried out at the Development Department of BOSCH Termotecnology S.A., under a six months final project of the Integrated Masters Degree on Mechanical Engineering from Faculty of Engineering of the University of Oporto.

The main objective of the work was the development of a boiler with a premixed combustion cell to guarantee a better thermal efficiency compared to the present systems, in accordance with the recent demands being imposed on the performance of these appliances. This change could guarantee an extra lifetime to the boiler being built at the Aveiro premises.

In this training the condensation concept from the World 2 appliances was applied to a boiler and validated and through these of parallel water circuits the water flow rate was increased.

Structural changes in the boilers refer to all components with the exception of the hydraulic block and expansion vessel.

The study was compared by:

- theoretical analysis of the model;
- planning of the experiments;
- construction of the prototypes and their testing.

The main advantages of this training were above all investments for both included parts; personally a first contact with the industrial world; for the company the evaluation of the improvement capacities of its appliances.

Agradecimentos

Agradeço ao Prof. Carlos Pinho a disponibilidade para supervisionar este relatório, que pela sua experiência e conhecimento, imprimem a este trabalho um símbolo de exigência e qualidade.

Ao orientador de estágio Eng.º Victor Santos, pelo compromisso de orientação e coordenação do estágio na empresa BOSCH Termotecnologia S.A., pela sua experiência e, não menos importante, boa disposição.

Ao Eng.º João Capela e Eng.º Tiago Fonseca pelo seu elevado conhecimento e disponibilidade em partilhá-lo, principalmente, durante os vários ensaios laboratoriais realizados.

Agradeço ao colega Pinhal pela construção e cedência dos desenhos 3D, elaborados em Unigraph.

A todos os elementos do departamento de Desenvolvimento - EWH - que indirectamente me ajudaram na realização deste trabalho, e pelo respeito, companheirismo e exemplares condições de trabalho.

À minha família e namorada, pelo incentivo e apoio incondicional durante a realização deste estágio de 6 meses.

ÍNDICE GERAL

Nomenclatura.....	v
Glossário	vii
Resumo.....	ix
Abstract.....	xi
Agradecimentos	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xix
ÍNDICE DE TABELAS	xxiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xxv
1 Introdução	1
1.1 Organização e temas abordados.....	1
1.2 Apresentação da empresa.....	2
1.2.1 Mercados.....	6
1.2.3 Principais produtos da empresa	9
1.2.3.1 Esquentadores	9
1.2.3.2 Caldeiras.....	11
1.2.3.4 Soluções solares	13
1.2.3.5 Outros produtos	14
1.3 O Projecto	15
1.4 Estudo e desenvolvimento do protótipo.....	16
2 Apresentação do caso de estudo	19
2.1 Tipos de gases.....	26
2.1.1 Gases da primeira família	26
2.1.2 Gases da segunda família	27
2.1.3 Gases da terceira família.....	29
2.2 Categorias dos aparelhos de gás	31
2.2.1 CATEGORIA I.....	31
2.2.2 CATEGORIA II	32
2.2.3 CATEGORIA III	32
A inter mutabilidade dos gases considera:	32

2.3 Caldeira 24 kW	36
2.3.1 Componentes GZT - Sistema AE	37
2.3.2 Funcionamento	45
2.4 World 2	50
2.4.1 Diferenças entre queimador World 1 e queimador World 2	59
3 Apresentação da metodologia utilizada	61
3.1 Equipamento e procedimento	62
3.2 Plano de testes	65
3.2.1 Perda de carga	66
3.2.2 Rendimento térmico	67
3.2.3 Temperaturas intermédias	70
3.2.4 Caudais de água nos circuitos paralelos	72
3.2.5 Higiene da combustão	73
3.2.5.1 CO	73
3.2.5.2 NO _x	75
4 Apresentação e análise dos resultados obtidos	79
4.1 Evolução do protótipo	79
4.2 Perda de carga	82
4.2.1 Ensaio protótipo - permutador de 5 passagens	82
4.2.2 Ensaio primeiro protótipo - caudais paralelos	83
4.2.3 Ensaio quarto protótipo - caudais paralelos - passagem no circuito do condensador e “saia” obstruído	84
4.2.4 Conclusão relativa aos testes anteriores	85
4.2.5 Ensaio parciais aos componentes do protótipo	87
4.2.6 Pesos relativos dos componentes do aparelho	89
4.2.7 Regulação do caudal nos circuitos paralelos - utilização de turbinas-caudalímetros	90
4.3 Temperaturas intermédias	92
4.4 Rendimento térmico	93
4.5 Higiene da combustão	95
4.6 Comparação com produtos concorrentes	96

4.6.1 Caldeiras de condensação concorrentes	97
4.6.2 Protótipo e concorrentes.....	100
4.7 Incertezas na medição	102
5 Principais conclusões e trabalhos futuros	103
6 Referências e bibliografia.....	107
6.1 Livros	107
6.2 Normas	107
7 ANEXOS	109
ANEXO A - Ensaios complementares.....	109
ANEXO B - Tabelas de conversão.....	116

ÍNDICE DE FIGURAS

1 Introdução

Figura 1-1 - Logótipo da empresa Vulcano Termodomésticos S.A.....	2
Figura 1-2 - Vista aérea da BOSCH Termotecnologia S.A. em Aveiro.....	2
Figura 1-3 - Aspecto exterior da BOSCH Termotecnologia S.A. em Aveiro.....	3
Figura 1-4 - Logótipo da Robert Bosch GmbH.....	3
Figura 1-5 - Marcas de esquentadores e caldeiras do Grupo Bosch.....	4
Figura 1-6 - Distribuição das quotas de mercado da BOSCH Termotecnologia.....	6
Figura 1-7 - Distribuição das quotas de mercado da BOSCH Termotecnologia a nível europeu.....	7
Figura 1-8 - Estrutura actual do departamento de desenvolvimento da BOSCH Termotecnologia S.A. Aveiro.....	8
Figura 1-9 - Norma de instalação de esquentadores.....	10
Figura 1-10 - Resumo dos esquentadores produzidos na BOSCH Termotecnologia Aveiro.....	10
Figura 1-11 - Modelos comercializados pelo Grupo Bosch.....	12
Figura 1-12 - Resumo das caldeiras comercializadas na BOSCH Termotecnologia Aveiro.....	12
Figura 1-13 - Pormenores técnicos dos painéis solares planos produzidos na BOSCH Termotecnologia S.A. Aveiro.....	13
Figura 1-14 - Pormenores técnicos dos painéis solares planos com termosifão produzidos na BOSCH Termotecnologia S.A. Aveiro.....	14
Figura 1-15 - Outros produtos comercializados.....	14
Figura 1-16 - Espiral de desenvolvimento de um novo produto.....	17

2 Apresentação do caso de estudo

Figura 2-1 - Perdas caloríficas dos aparelhos sem e com condensação.....	22
Figura 2-2 - Relação não condensação/ condensação.....	22
Figura 2-3 - Analogia das resistências paralelas.....	23
Figura 2-4 - Esquema do posicionamento dos Y's no circuito paralelo.....	25
Figura 2-5 - Representação esquemática do diagrama de intermutabilidade de um queimador.....	34
Figura 2-6 - Estrutura da caldeira GZT.....	37
Figura 2-7 - Componentes de exaustão.....	38
Figura 2-8 - Ventilador para caldeira AE.....	38

Figura 2-9 - Componentes periféricos do ventilador.....	39
Figura 2-10 - Localização do limitador de temperatura.....	40
Figura 2-11 - Estrutura típica de um queimador de tubeiras de uma caldeira GZT.....	41
Figura 2-12 - Bloco hidráulico e seus componentes periféricos.....	42
Figura 2-13 - Válvula de gás da caldeira GZT.....	43
Figura 2-14 - Vaso de expansão e seu funcionamento.....	44
Figura 2-15 - Painel frontal da caldeira GZT.....	44
Figura 2-16 - Placa electrónica típica de uma caldeira GZT.....	45
Figura 2-17 - Pré-sequência de acionamento do queimador.....	46
Figura 2-18 - Funcionamento de uma válvula de 3 vias. Imagens: motor e respectiva válvula de 3 vias.....	47
Figura 2-19 - Funcionamento da caldeira com sistema AE em sistema ZW/AC.....	47
Figura 2-20 - Funcionamento da caldeira com o sistema AE em sistema ZW/AQS. ..	48
Figura 2-21 - Funcionamento da caldeira em sistema ZW.....	49
Figura 2-22 - Estrutura do World 1.....	50
Figura 2-23 - Esquema câmara de combustão e chaminé World 1.....	51
Figura 2-24 - Esquema do queimador de um World 1.....	52
Figura 2-25 - Esquema ventilador World 1.....	52
Figura 2-26 - Elementos do mostrador electrónico do World 2.....	54
Figura 2-27 - Distribuição das marcas dos dois tipos de World 2 - não condensação e condensação.....	54
Figura 2-28 - Informação técnica das referências do World 2.....	55
Figura 2-29 - Estrutura de um esquentador World 2 condensação.....	56
Figura 2-30 - Esquema representativo da estrutura de um esquentador World 2 condensação.....	56
Figura 2-31 - Esquema representativo da estrutura de um esquentador World 2 condensação.....	57
Figura 2-32 - Esquema do queimador, ventilador primário (azul escuro), secundário (azul claro) e válvula de gás.....	58
Figura 2-33 - Esquema do condensador de um esquentador World 2 (na figura da direita são visíveis as duas passagens de permutadores).....	58
Figura 2-34 - Queimador sem ar secundário.....	59
Figura 2-35 - Queimador com ar secundário.....	59

3 Apresentação da metodologia utilizada

Figura 3-1 - Banca de ensaio normalizada segundo Norma DIN EN 483.....	62
Figura 3-2 - Mostradores digitais da banca de ensaio normalizada.....	63
Figura 3-3 - Sonda de gases - Teste.....	63
Figura 3-4 - Contador de gás húmido - Actaris.....	63
Figura 3-5 - Diagrama representativo da evolução do trabalho realizado.....	65
Figura 3-6 - Diagrama representativo do circuito de água no protótipo final.....	70
Figura 3-7 - Posição das turbinas. Turbina de medição de caudal.....	72
Figura 3-8 - Relação entre fracções molares do CO e CO ₂ em função da riqueza da mistura.....	74

4 Apresentação e análise dos resultados obtidos

Figura 4.1 - Posição do bloco hidráulico e da bomba do protótipo. Pormenor da bomba e do local onde se encontra a válvula de 3 vias. Vista da válvula de 3 vias, que tem um funcionamento vertical e ao se deslocar provoca a abertura e fecho do circuito de AQS ou AC.....	88
Figura 4.2 - Válvula restritiva utilizada no protótipo no circuito que liga o Y divergente ao condensador.....	90
Figura 4-3 - Marcação relativa ao rendimento energético.....	96
Figura 4.4 - Tolerâncias máximas nos erros de leitura segundo a norma DIN EN 483.....	102

ÍNDICE DE TABELAS

1 Introdução

Tabela 1-1 - Calendarização do estágio realizado.....	1
Tabela 1-2 - Tipos de esquentadores.....	9
Tabela 1-3 - Tipos de caldeiras.....	11

2 Apresentação do caso de estudo

Tabela 2-1 - Rendimentos úteis mínimos.....	19
Tabela 2-2 - Exigências de rendimentos relativas à marcação de estrelas.....	20
Tabela 2-3 - Propriedades gases da primeira família.....	26
Tabela 2-4 - Propriedades gases da segunda família.....	27
Tabela 2-5 - Características dos gases da segunda família com $T=0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $P=1013,25\text{ mbar}$	28
Tabela 2-6 - Propriedades gases da terceira família.....	29
Tabela 2-7 - Poder calorífico de gases da terceira família.....	29
Tabela 2-8 - Descrição das características dos aparelhos da categoria I existentes em Portugal.....	31
Tabela 2-9 - Descrição das características dos aparelhos da categoria II existentes em Portugal.....	32
Tabela 2-10 - Propriedades dos gases da primeira, segunda e terceira famílias.....	35
Tabela 2-11 - Nomenclatura das caldeiras produzidas na BOSCH Termotecnologia S.A. Aveiro.....	36
Tabela 2-12 - Modos de funcionamento de uma caldeira GZT.....	45
Tabela 2-13 - Características técnicas do World 1.....	53
Tabela 2-14 - Características técnicas do aparelhos World 2 - não condensação e condensação.....	55

3 Apresentação da metodologia utilizada

Tabela 3-1 - Fracções molares de $(\text{CO}_2)_N$ para os gases de referência.....	74
---	----

4 Apresentação e análise dos resultados obtidos

Tabela 4-1 - Valores registados do diferencial de pressão no permutador de 5 passagens.....	82
Tabela 4-2 - Valores registados do diferencial de pressão no primeiro protótipo ensaiado.....	83

Tabela 4-3 - Valores registados do diferencial de pressão no quarto e último protótipo ensaiado.....	84
Tabela 4-4 - Comparação dos pesos relativos dos vários componentes da caldeira.....	89
Tabela 4-5 - Dados registados de caudal em ambos os circuitos paralelos que diferentes caudais totais impostos.....	91
Tabela 4-6 - Temperaturas intermédias no protótipos antes da regulação de caudais.....	92
Tabela 4-7 - Temperaturas intermédias no protótipos após regulação de caudais.....	92
Tabela 4-8 - Resultados obtidos de rendimento (com poder calorífico superior) do protótipo Caldeira x World 2 (carga parcial e máxima).....	93
Tabela 4-9 - Resultados obtidos de rendimento do protótipo Caldeira x World 2, Caldeira 24 kW e esquentador World 2 (carga parcial e máxima).....	94
Tabela 4-10 - Resultados obtidos de higiene da combustão (monóxido de carbono) do protótipo Caldeira x World 2, Caldeira 24 kW e esquentador World 2 (carga máxima)	95
Tabela 4-11 - Resultados obtidos de higiene de combustão (óxido de azoto) protótipo Caldeira x World 2, Caldeira 24 kW e esquentador World 2 (carga máxima).....	95
Tabela 4-12 - Rendimentos úteis mínimos.....	96
Tabela 4-13 - Exigências de rendimentos relativas à marcação de estrelas.....	96
Tabela 4-14 - Valores limite de NO _x segundo a norma DIN EN 483.....	97
Tabela 4-15 - Resultados obtidos do rendimento (com poder calorífico superior) da Caldeira de 24 kW já existente (carga parcial e máxima).....	100
Tabela 4-16 - Resultados obtidos do rendimento (com poder calorífico superior) do protótipo Caldeira x World 2 (carga parcial e máxima).....	100
Tabela 4-17 - Resultados obtidos do rendimento (Hi e Hs) do protótipo e dos produtos concorrentes.....	101

7 ANEXOS

Tabela A-1 - Tabela relativa às perdas de carga parcial dos componentes da caldeira.....	115
Tabela A-2 - Caudal característico para um diferencial de 200 mbar para todos os aparelhos estudados.....	115
Tabela A-3 - Potências retiradas dos aparelhos estudados com o caudal característico.....	115
Tabela B-1 - Primeira família de gases.....	115
Tabela B-2 - Segunda família de gases.....	116
Tabela B-3 - Terceira família de gases.....	116

ÍNDICE DE GRÁFICOS

4 Apresentação e análise dos resultados obtidos

Gráfico 4-1 - Curva de caudal característica relativa à primeira solução considerada - 5 passagens.....	82
Gráfico 4-2 - Curva de caudal característica relativa ao primeiro protótipo ensaiado.....	83
Gráfico 4-3 - Curva de caudal característica relativa ao quarto e último protótipo ensaiado.....	85
Gráfico 4-4 - Evolução do caudal disponível à saída do aparelho.....	86
Gráfico 4-5 - Comparação das curvas características de caudal dos componentes do bloco hidráulico.....	87
Gráfico 4-6 - Curvas de caudal nos dois circuitos paralelos.....	91

7 ANEXOS

Gráfico A-1 - Curva de caudal da caldeira 24 kW actual nas diversas velocidades disponíveis pela bomba.....	109
Gráfico A-2 - Curva de caudal da caldeira 24 kW actual.....	109
Gráfico A-3 - Curva de caudal da do primeiro protótipo construído.....	110
Gráfico A-4 - Curva característica de caudal do segundo protótipo construído....	111
Gráfico A-5 - Curva característica de caudal do terceiro protótipo construído....	112
Gráfico A-6 - Curva característica de caudal do bloco hidráulico completo.....	113
Gráfico A-7 - Curva característica de caudal de dois elementos, bomba e flange de entrada, do bloco hidráulico.....	113
Gráfico A-8 - Curva característica de caudal da bomba da caldeira actual.....	114
Gráfico A-9 - Curva característica de caudal da bomba da caldeira actual.....	114
Gráfico B-1 - Conversão para primeira família de gases.....	116
Gráfico B-2 - Conversão para segunda família de gases.....	116
Gráfico B-3 - Conversão para terceira família de gases.....	116

1 Introdução

1.1 Organização e temas abordados

A estrutura do presente relatório está enquadrada nos seguintes pontos fundamentais:

- Introdução - Apresentação da empresa BOSCH Termotecnologia e especificação dos objectivos inerentes ao projecto que envolve o estágio curricular.

- Noções de base - Descrição de alguns elementos fundamentais para a compreensão de aspectos técnicos e científicos associados ao projecto.

- Projecto célula de combustão em pré-mistura numa caldeira - Indicação das especificações impostas ao projecto, descrição das etapas de desenvolvimento e exposição do protótipo final:

- Resultados obtidos;
- Análise dos resultados;
- Conclusão - Apresentação do resultado global do projecto.

Tarefas	Set-07	Out-07	Nov-07	Dez-07	Jan-08	Fev-08
1 - Planeamento						
2 - Definição de soluções 2.1 - Avaliação de soluções a executar						
3 - Execução de amostras						
4 - Teste de amostras 4.1 - Perdas de carga 4.2 - Eficiência térmica						
5 - Avaliação dos testes / Conclusão						
6 - Elaboração do relatório de estágio						

Tabela 1-1 - Calendarização do estágio realizado

1.2 Apresentação da empresa

A BOSCH Termotecnologia S.A., anteriormente designada por Vulcano Termodomésticos S.A., iniciou a sua actividade em Cacia, Aveiro, no ano de 1977. Constituída inicialmente por capital totalmente nacional, a empresa baseia o seu funcionamento num contrato de licenciamento com a Robert Bosch para a transferência da tecnologia utilizada pela empresa alemã nos esquentadores Junkers, então produzidos na Alemanha.

O crescimento baseado na qualidade dos aparelhos produzidos e de uma clara estratégia de vendas, consolidada em 1983 com o lançamento de uma marca própria - a Vulcano - e de assistência pós-venda, garantem-lhe uma rápida e sólida liderança do mercado nacional de esquentadores.



Figura 1-1 - Logotipo da empresa Vulcano Termodomésticos, S.A.



Figura 1-2 - Vista aérea da BOSCH Termotecnologia S.A. Aveiro



Figura 1-3 - Aspecto exterior da BOSCH Termotecnologia S.A. em Aveiro

Em 1988, com a aquisição da maioria do capital pelo Grupo Bosch, a fábrica Vulcano, agora Vulcano Termodomésticos, SA. passa a integrar a divisão de Termotécnica da Bosch, que transfere para Portugal competências e equipamento existentes iniciando um processo de especialização.

Nascida em 1886, em Estugarda, a Robert Bosch foi desde sempre uma empresa marcada pela enorme paixão pela inovação e um incomparável espírito empreendedor. Da oficina mecânica de precisão e electrónica que começou por ser, ao grande grupo multinacional - e um dos maiores grupos industriais da Alemanha - que hoje é, vai um percurso feito de entusiasmo, inovação tecnológica e sentido de responsabilidade social e ecológica que a conduziu ao sucesso.



Figura 1-4 - Logótipo da Robert Bosch GmbH

A integração da Junkers & Co, empresa fundada por Hugo Junkers em 1895, na Robert Bosch GmbH em 1932, marca o início da Divisão Termotécnica da Robert Bosch. Com oito fábricas, em 2002, situadas em cinco países da Europa, e cerca de 6500 colaboradores, a Bosch Termotécnica é hoje o principal produtor europeu de esquentadores e caldeiras a gás, e um dos líderes internacionais do sector, responsável por uma vasta gama de produtos que chegam ao consumidor sob diversas marcas.



Figura 1-5 - Marcas de esquentadores e caldeiras do Grupo Bosch

Líder do mercado europeu desde 1992, e terceiro produtor mundial de esquentadores, a Vulcano Termodomésticos, SA. é hoje o Centro de Competência da Robert Bosch para este produto. Responsável mundial do produto, estão sob a sua tutela a concepção e desenvolvimento de novos aparelhos bem como a sua fabricação e comercialização.

Beneficiando de sinergias no desenvolvimento de aparelhos de queima a gás (esquentadores), a Vulcano Termodomésticos, SA. iniciou, em 1995, a produção de um novo modelo de caldeiras murais a gás, constituindo hoje parte importante do negócio.

O departamento de Desenvolvimento foi o local onde foram desenvolvidas todas as actividades do Estágio Curricular descrito neste relatório. Este departamento, criado em 1992, contava na altura com apenas três colaboradores e tem como função principal o desenvolvimento de novos produtos e o melhoramento contínuo dos actuais, tendo o Procedimento da Bosch para a Divisão Termotécnica “Product Life Cycle” como base de todas as suas acções. Este documento descreve todos os passos importantes para o desenvolvimento de produtos e controlo do “Design” que devem ser tidos em conta, explicando cada uma das fases, desde a concepção até à introdução no mercado.

Em consonância com o Manual da Qualidade, é dada especial atenção às exigências e disposições legais relativas à segurança e responsabilidade civil em relação ao produto.

Cada fase de evolução do projecto é marcada por um conjunto de acções a que se dá o nome de FMEA (Failure Mode and Effect Analysis - Análise Modal Defeito Efeito-Causa), onde são levantados os potenciais problemas e delineados os processos para a sua resolução, minimizando assim as possíveis falhas.

A VULCANO tem, desde a sua fundação, promovido a ligação com entidades de assistência técnica, ligação esta que se intensificou a partir de 1994/95 depois da criação do departamento de desenvolvimento [em que a colaboração com infra-estruturas tecnológicas nacionais, como o INEGI, o INESC e o CATIM, foi fundamental para o sucesso do progresso de endogeneização levado a cabo pela Empresa].

Referência mundial da inovação tecnológica nos esquentadores e reconhecido caso de sucesso na utilização de fundos do Pedip, a VULCANO abriu, em várias ocasiões, as suas portas a missões de potenciais investidores estrangeiros em Portugal, promovidas pelo ICEP.

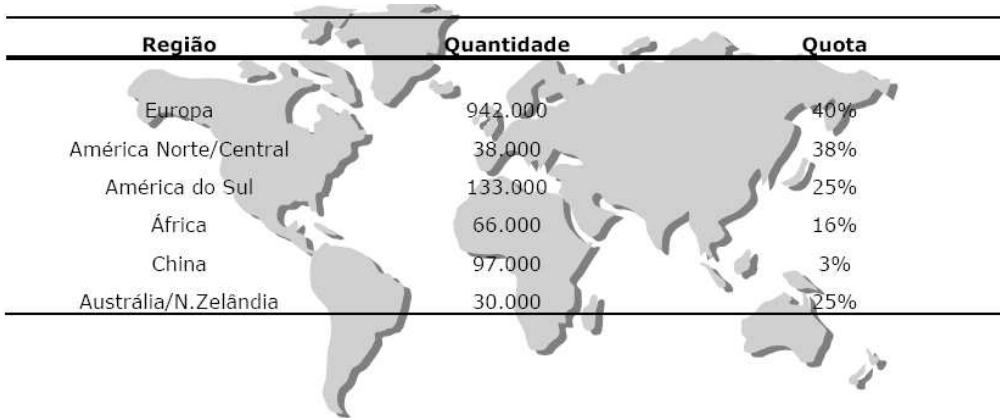
O objectivo da Vulcano e, em particular do departamento de desenvolvimento, é fornecer ao mercado produtos com elevada performance, qualidade, fiabilidade e a um preço competitivo. E para cumprir estes objectivos, o EWH (ver glossário) tem como responsabilidade:

- Definir o “*design*” e desenvolver esquentadores e caldeiras;

- Fazer a manutenção de produtos de acordo com pedidos do cliente, através do SHW (ver glossário);
- Definir, planear e realizar ensaios de laboratório, durabilidade, produção e ensaios em campo;
- Preparar a documentação de acordo com os procedimentos TT (ver glossário), incluindo testes e normas de ensaio (certificação);
- Organizar amostras de acordo com as fases de desenvolvimento A, B e C (as fases A, B e C são as etapas que o protótipo percorre, a começar no C que é uma construção mecânica que atinge os objectivos pretendidos e a acabar no A que se aproxima mais de um produto final);
- Resolver reclamações de clientes / melhoria da qualidade;
- Desenvolver projectos de racionalização, alterações / melhorias nos produtos existentes;
- Dar assistência em peças de substituição de componentes alterados / novos.

1.2.1 Mercados

A BOSCH Termotecnologia detém, em todos os continentes, quotas consideráveis, podendo estas últimas ser visualizadas na tabela seguinte.



Região	Quantidade	Quota
Europa	942.000	40%
América Norte/Central	38.000	38%
América do Sul	133.000	25%
África	66.000	16%
China	97.000	3%
Austrália/N.Zelândia	30.000	25%

Figura 1-6 - Distribuição das quotas de mercado da BOSCH Termotecnologia a nível mundial

A Europa Ocidental é o mercado onde são feitas as maiores apostas em termos de números de aparelhos. O gráfico abaixo evidência as quotas de mercado nos seus diferentes países.

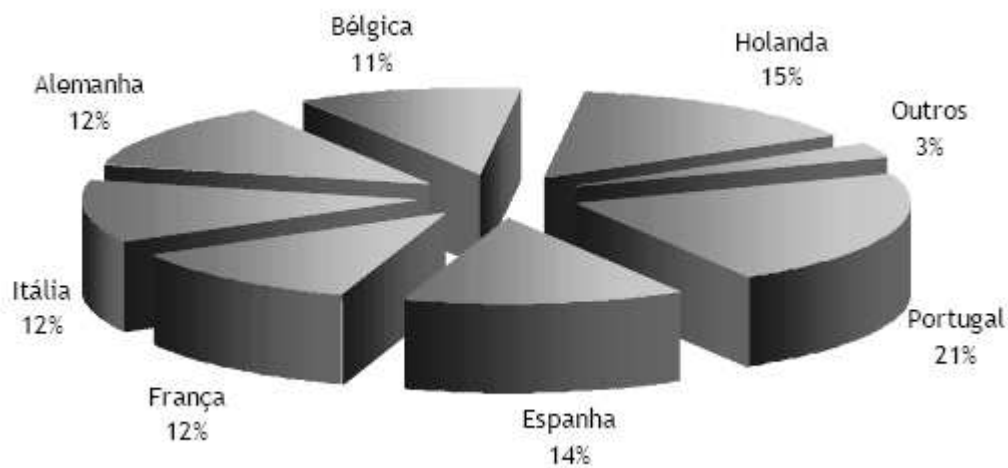


Figura 1-7 - Distribuição das quotas de mercado da BOSCH Termotecnologia a nível europeu

1.2.2 Departamento de desenvolvimento

O departamento de desenvolvimento EWH (ver glossário), criado em 1992 com 3 colaboradores (actualmente com mais de 30 colaboradores), tem como principal tarefa o desenvolvimento de novos produtos e melhoramento contínuo dos actuais, e tendo como base todas as acções o procedimento da BOSCH para a divisão Termotécnica “Ciclo de vida do produto”. Este documento descreve todos os passos importantes para o desenvolvimento de produtos e controlo do “design” que devem ser tidos em conta, explicando cada uma das fases, desde a concepção até à introdução no mercado.

O desenvolvimento da Bosch Termotecnologia apresenta actualmente a seguinte configuração.

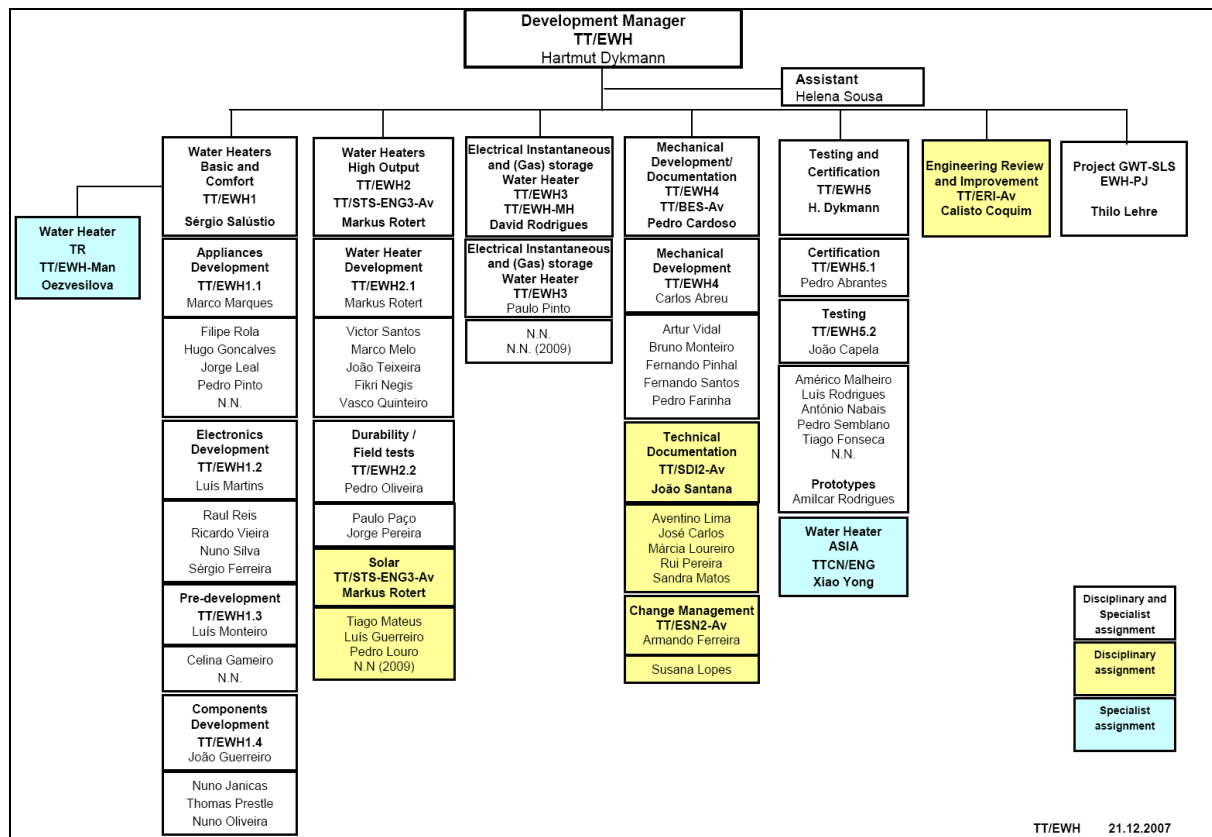


Figura 1-8 - Estrutura actual do departamento de desenvolvimento da BOSCH Termotecnologia S.A. Aveiro

1.2.3 Principais produtos da empresa

1.2.3.1 Esquentadores

Os esquentadores são Termodomésticos a gás que têm como função o fornecimento instantâneo de água quente, para consumo doméstico ou industrial e constituem o principal produto da BOSCH Termotecnologia.

Hoje em dia, existem mais de 900 diferentes tipos de esquentadores resultantes da combinação de diferentes elementos funcionais e marcas, de forma a satisfazer as mais variadas necessidades e opções do mercado. Estas diferenças assentam em diversos conceitos, nomeadamente no tipo de gás de alimentação, na potência ou na capacidade deste e na sua forma de utilização e, no que respeita ao conceito técnico, podem resumir-se na seguinte tabela:

Característica	Designação do grupo	
Gás de alimentação	Gás de cidade A	Gás Natural H
	Gás de cidade B	Gás Propano
	Gás natural	Gás Butano
Potência - Capacidade	9 kW - 5 l/min	19 kW - 11 l/min
	12 kW - 8 l/min	23 kW - 13 l/min
	14 kW - 9 l/min	24 kW - 14 l/min
	18 kW - 10 l/min	28 kW - 16 l/min
Sistema de ignição	Piezo, baterias, eléctrico	
Sistema de controlo de caudal	Regulado pelo caudal de água independente do caudal de água	
Tipos de automáticos de gás	Com queimador integrado	
	Caixa ou anilha de regulação automática	
	Teclas	
Sistema de saída de gases de combustão	Chaminé	Balanceados
	Chaminé com ventilador	Ventilados
	Grelha de fumos	

Tabela 1-2 - Tipos de esquentadores

Um esquentador deve ser instalado quando exista um troço de 30 cm na vertical para evacuação dos gases provenientes da queima. Caso estas condições não existam poderá optar-se por um esquentador ventilado/estanque (ver glossário).

Comprimento L (m)	Inclinação (cm/m)
Até 1	1
Entre 1 e 3	3
Entre 3 e 6	10

Com C > 30 cm

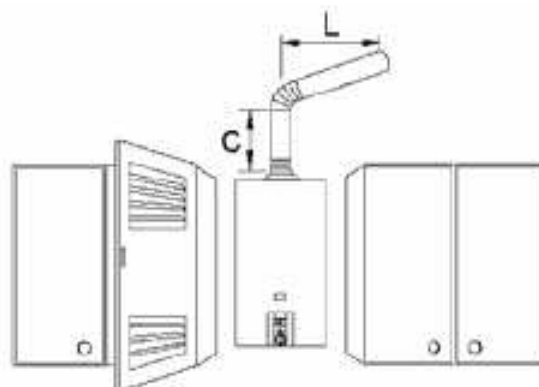


Figura 1-9 - Norma de instalação de esquentadores

Apresenta-se de seguida alguns dos principais modelos produzidos nas instalações da fábrica em Aveiro.

ESQUENTADORES COMPACTOS					
					
Características	Click HDG (WRDG)	Click! (WRDB)	Inteligente (WB)	tic-tic (WE)	Click! Ventilado (WRD-KME)
Tipo de Exaustão	Natural	Natural	Natural	Natural	Ventilada
Display digital LCD	Sim	Sim*	Não	Não	Sim
Acendimento electrónico	Por hidrogerador	Por pilhas LED indicador de carga	Por pilhas LED indicador de carga	Manual por baterias	Eléctrico (230V)
Modulação da chama (gás)	Automática Potência variável	Automática Potência variável	Manual Potência fixa	Manual Potência fixa	Automática Potência variável
Liga e desliga na torneira?	Sim. Inteligente	Sim. Inteligente	Sim. Inteligente	Não	Sim. Inteligente
Botão ON/OFF	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
LED indicador de funcionamento	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Selector de temperatura	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Tipo de gás	Natural Butano/Propano	Natural Butano/Propano	Natural Butano/Propano	Natural Butano/Propano	Natural Butano/Propano
Capacidades	11/14/18 litros	11/14 litros	11 litros	11 litros	11/14/17 litros

Figura 1-10 - Resumo dos esquentadores produzidos na BOSCH Termotecnologia Aveiro

1.2.3.2 Caldeiras

As caldeiras de aquecimento central são aparelhos com uma estrutura de funcionamento similar à dos esquentadores, ainda que mais desenvolvida devido à sua função de aquecimento central.

O aquecimento central é realizado em circuito fechado, isto é, independente do circuito de águas quentes sanitárias.

Tal como os esquentadores, as caldeiras podem ser classificadas segundo as suas características funcionais que se resumem na tabela que seguidamente se apresenta. Actualmente existem cerca de 120 modelos diferentes de caldeiras e dois tipos principais de caldeiras: as caldeiras murais e as de chão.

As caldeiras murais a gás Lifestar são as únicas que são produzidas na fábrica de Aveiro. Com potências de 28-30 kW ou de 24 kW úteis nas águas quentes sanitárias, estas caldeiras não tem qualquer optimização do rendimento com recurso a condensação. Aceitam ligação a um sistema solar, e apresentam-se em três versões diferentes de exaustão: natural, estanque e ventilada (ver glossário).

Característica	Designação do grupo
Gás de alimentação	Gás de cidade Gás Natural Gás Propano Gás Butano
Potência - Capacidade	Babystar (21,4 kW) Cerastar (24,6 kW) Eurostar (24 kW)
Função	Aquecimento central Aquecimento de águas sanitárias por acumulação Aquecimento central e águas sanitárias instantâneas
Ignição	Automático sem piloto Termo-eléctrico com piloto

Tabela 1-3 - Tipos de caldeiras

Apresentam-se de seguida alguns modelos do grupo BOSCH:



Figura 1-11 - Modelos comercializados pelo Grupo Bosch

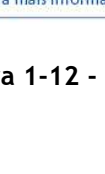
GAMA	MODELOS	DIMENSÕES (mm)	REGULADORES
LIFESTAR  • Potência AQS: 24 kW e 28 kW ou 30 kW • Potência AC: 24 kW	ZW - Aquecimento central e águas quentes instantâneas ZW 24/24kW e 24/28 kW Exaustão Natural ZW 24/24kW e 24/30 kW Ventilada ZW 24/24kW e 24/30 kW Estanque ZS - Aquecimento central e águas quentes por acumulação ZS 24/24kW Exaustão Natural ZS 24/24kW Ventilada ZS 24/24kW Estanque	A 700 x L 400 x P 298 A 700 x L 400 x P 298	TR 15-RF e TR 15-RFT Termostato programável TR 12 Termostato TRZ 12-2 Termostato programável
EUROSTAR PLUS  • Potência 24 kW	ZWE - Aquecimento central e águas quentes instantâneas ZWE 24 Exaustão Natural ZWE 24 Estanque ZSE - Aquecimento central e águas quentes por acumulação ZSE 24 Exaustão Natural ZSE 24 Estanque	A 850 x L 440 x P 360 A 850 x L 512 x P 360	DT 1 / DT 2 Relógio encastrável TR 21 Termostato TR 200 Termostato programável TR 15-RF e TR 15-RFT Termostato programável
EUROSTAR ACU PLUS  • Potência MFK: 23 kW • Potência MFA: 28 kW	ZWSE - Aquecimento central e águas quentes por acumulação ZWSE 23 Exaustão Natural ZWSE 28 Estanque	A 892 x L 600 x P 487	DT 1 Relógio encastrável TR 21 Termostato TR 200 Termostato programável TR 15-RF e TR 15-RFT Termostato programável
AQUASTAR  • Potência 28 kW	ZWC - Aquecimento central e águas quentes instantâneas ZWC 28 Exaustão Natural ZWC 28 e ZWC 28/32 Estanque ZSC - Aquecimento central e águas quentes por acumulação ZSC 28 Exaustão Natural ZSC 28 Estanque	A 850 x L 440 x P 383 A 850 x L 440 x P 383	DT 1 / DT 2 Relógio encastrável TR 21 Termostato TR 200 Termostato programável TR 15-RF e TR 15-RFT Termostato programável

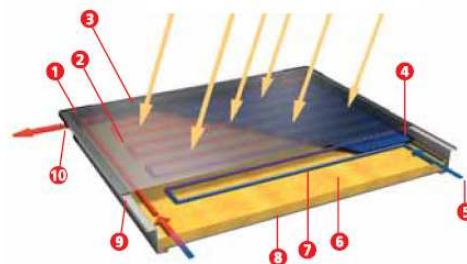
Figura 1-12 - Resumo das caldeiras comercializadas na BOSCH Termotecnologia Aveiro

1.2.3.4 Soluções solares

No solar a evolução tem sido muito significativa. Apresentando uma vasta gama de opções dentro do modelo de colector plano coberto, as soluções solares da BOSCH Termotecnologia, proporcionam o máximo o máximo conforto na produção de água quente e apoio no aquecimento central por piso radiante ou radiadores, qualquer que seja a sua utilização, recorrendo a soluções tecnológicas inovadoras que combinam a gama de caldeiras e esquentadores, especialmente preparados para a ligação de sistemas solares.

Principais características

- **Acabamento altamente selectivo: PVD.** Este acabamento permite melhorar a eficiência do painel e proporciona a ecónomia energética.
- **Circuito hidráulico em dupla serpentina:** o exclusivo design do absorvedor reduz os sobreaquecimentos em épocas de reduzido consumo e elevada radiação, num painel com elevada temperatura de estagnação. A reduzida perda de carga permite a ligação em paralelo até 10 painéis.
- **Vidro solar ligeiramente estruturado:** a qualidade do vidro solar permite atingir um rendimento elevado, possui grande resistência e mantém as mesmas características ao longo do tempo.
- **Ligações metálicas flexíveis:** facilitam a montagem, beneficiando a estanquidade e durabilidade da instalação.
- **Versões para montagem na vertical e horizontal:** a possibilidade de montagem na horizontal permite adaptar-se a um número elevado de instalações, aumentando a estética das mesmas.



- Esquinas de plástico sintético reforçadas 1
- Vidro de segurança solar 2
- Bainha para sensor de temperatura 3
- Absorvedor altamente selectivo (PVD) 4
- Entrada de água fria 5
- Isolamento 6
- Dupla serpentina 7
- Chapa posterior galvanizada 8
- Caixa em fibra de vidro 9
- Saída de água quente 10

Figura 1-13 - Pormenores técnicos dos painéis solares planos produzidos na BOSCH Termotecnologia S.A. Aveiro

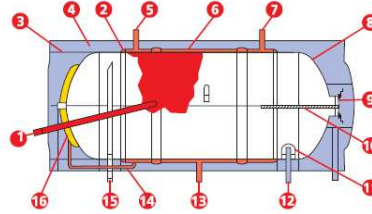
Principais características

Gerais:

- Ampla capacidade dos volumes de acumulação: 150, 200 e 300 litros, suficiente para abastecer água quente sanitária a 45°C a uma família de 8 pessoas.
- Depósitos de dupla envolvente, com circuito solar independente do circuito de consumo.
- Acabamento exterior do depósito realizado em aço galvanizado branco, proporciona uma estética agradável e uma excelente durabilidade face aos efeitos atmosféricos.
- Acabamento interior do depósito com dupla capa de vitrificado, contribuindo para a máxima durabilidade, qualidade e higiene no serviço de água quente sanitária.
- Com possibilidade de apoio de resistência eléctrica
- Instalação em telhado plano ou inclinado,

Específicas:

- Este depósito ainda incorpora:
 - Um vaso de expansão no seu interior (3 litros), beneficiando de forma evidente a integração arquitectónica do conjunto, ao mesmo tempo que facilita a montagem e de válvulas de segurança dos sistemas primário (2,5 bar) e secundário (10 bar).
- As ligações hidráulicas flexíveis, compostas por tubagens flexíveis em EPDM, incorporam isolamento em espuma elastomérica, resistente aos efeitos de ozono, da radiação ultravioleta e de outros agentes atmosféricos, como vento, chuva, granizo, etc. estão desenhadas para suportar as altas temperaturas de trabalho da instalação solar, absorver as dilatações e facilitar a montagem do sistema termosifão.
- Estruturas fabricadas em alumínio, que contribuem para o baixo peso do equipamento, facilitando o transporte e instalação:
- Estruturas para telhado plano com 35° de inclinação, que facilitam a montagem do equipamento e favorecem a estética, pois ocultam parcialmente o depósito por trás do painel.
- Estruturas para telhado inclinado, com possibilidade de instalação entre 15° e 40°, que favorecem também a estética ao permitir a instalação do depósito no sótão da moradia.



- Entrada solar 1
- Dupla envolvente (líquido solar em vermelho) 2
- Isolamento poliuretano (50 mm) 3
- Aço lacado branco 4
- Válvula de segurança (2,5 bar) 5
- Permutador de calor 6
- Enchimento 7
- Depósito interior esmalatado (2,5 - 3 mm de espessura) 8
- Flange com ligação resistência eléctrica G1 9
- Ánodo de magnésio 10
- Deflector para favorecer a estratificação 11
- Água fria de rede 12
- Saída solar 13
- Ligação do permutador com o vaso de expansão 14
- Água quente 15
- Vaso de expansão (3 litros) 16



Figura 1-14 - Pormenores técnicos dos painéis solares planos com termosifão produzidos na BOSCH Termotecnologia S.A. Aveiro

1.2.3.5 Outros produtos

Para além dos produtos referidos anteriormente, a BOSCH Termotecnologia comercializa outros produtos, com o por exemplo: depósitos e acumuladores, radiadores e toalheiros, acessórios, e outro material acessório térmico.



Figura 1-15 - Outros produtos comercializados

1.3 O Projecto

O caso de estudo baseia-se na evolução da caldeira de 24 kW com a qual se pretende obter 4 estrelas de rendimento, sendo que actualmente este aparelho se encontra no patamar das 3 estrelas que exige no mínimo 92,76 % de rendimento térmico. A afirmação anterior é baseada na Directiva 92/42/CEE do Conselho de 21 de Maio de 1992, e que é explicada em pormenor no Capítulo 2 deste relatório. O projecto proposto seria o de tentar obter uma caldeira com maior rendimento térmico, ajustando o balanço entre a potência fornecida e potência retirada, nunca esquecendo a higiene da combustão.

O projecto foi iniciado por uma abordagem ao diferencial de pressão entrada - saída aos produtos já existentes, ou seja, à caldeira de 24 kW e ao esquentador WORLD 2, para posterior optimização do caudal fornecido pela bomba de água do aparelho.

Sabendo que as caldeiras para aquecimento funcionam num regime de temperaturas 60°C-80°C (temperatura de entrada - temperatura de saída) tería-se uma diferença de temperatura de 20°C, ou seja, utilizando o calor específico médio significava que o caudal a atingir seria 17,2 l/min para se retirar do aparelho 24 kW de potência.

O projecto foi assim desenvolvido considerando o caudal de 17,2 l/min e a classificação de 4 estrelas objectivos a atingir.

1.4 Estudo e desenvolvimento do protótipo

O trabalho desenvolvido foi feito seguindo os processos de desenvolvimento da fábrica, ou seja, desenvolvimento teórico, construção do protótipo, e ensaio no laboratório com posteriores alterações se necessário.

Inicialmente os protótipos preparados e os respectivos ensaios foram realizados com um objectivo apenas de reduzir a perda de carga não considerando os avançamentos finais do nosso produto. Toda a análise teórica foi pensada considerando apenas o estudo das perdas de carga, deixando assim a avaliação do rendimento energético do protótipo para mais tarde.

Para que o trabalho num projecto seja eficiente, é necessário que este seja conduzido com boa organização e programação. Assim, o desenvolvimento de um novo conceito para a câmara de combustão é um processo complexo, que não deverá ser realizado ao acaso, sendo tomadas decisões apenas quando tal se torne necessário, ou dependendo totalmente na qualidade das tecnologias disponíveis. Deve seguir uma metodologia que combine métodos compreensivos para todas as fases do trabalho, ferramentas de desenvolvimento, técnicas para assegurar a qualidade da câmara de combustão e uma filosofia de coordenação, controlo e gestão dos recursos disponíveis. Essa metodologia deve auxiliar a planificação das tarefas que constituem cada fase do desenvolvimento, bem como a definição da melhor forma de as executar.

O modelo de desenvolvimento ideal é o modelo de espiral (Figura1-16), assim indicado pelos colaboradores do departamento de desenvolvimento aquando do início de um projecto. Esse modelo, é realizado através da execução de quatro actividades principais:

1. Planeamento - determinação de objectivos, análise de alternativas e condicionamentos;
2. Análise de riscos - análise de alternativas e identificação/resolução de riscos;
- 3 . Engenharia - implementação do “próximo nível” do produto;
- 4 . Avaliação do cliente - avaliação dos resultados da engenharia da parte do cliente.

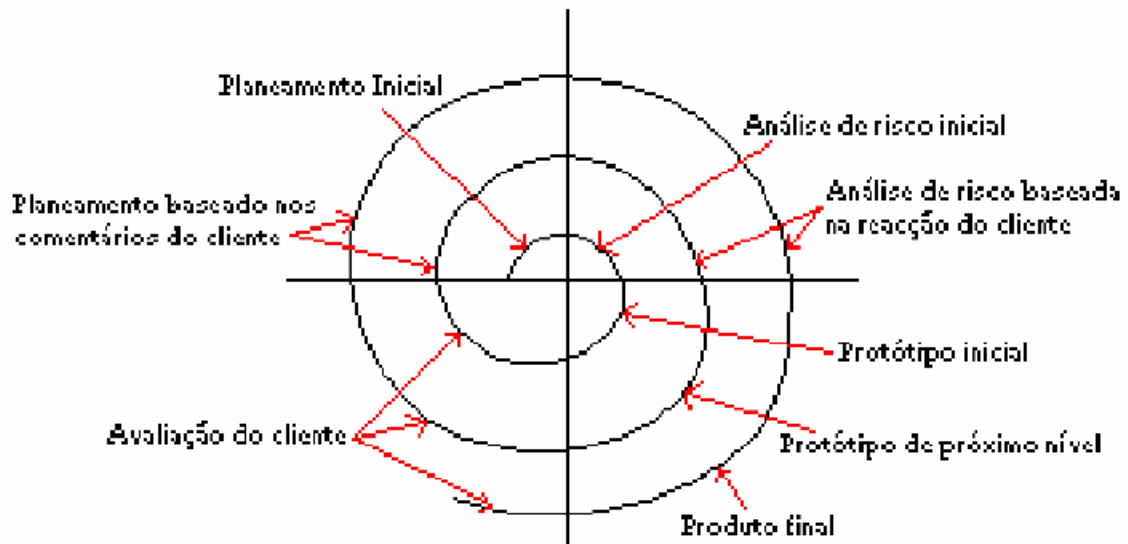


Figura 1-16 - Espiral de desenvolvimento de um novo produto

A expressão “próximo nível” significa que o conceito para a câmara de combustão é desenvolvida por etapas, podendo cada uma das actividades anteriores repetir-se várias vezes até à conclusão do projecto (daí o nome de espiral). Assim, após a avaliação do cliente, pode ser necessário efectuar novo planeamento, levando a uma nova análise de risco e outro processo de engenharia, o que fará avançar a implementação do sistema passo a passo.

Com cada iteração à volta da espiral, surgem versões mais completas da câmara de combustão a construir. Muitas vezes é utilizada prototipagem rápida (construção de protótipos ou modelos tridimensionais) para auxiliar a equipa de trabalho no processo de engenharia e a avaliação por parte do cliente.

Durante o primeiro círculo à volta da espiral, objectivos, alternativas e condicionamentos são definidos e riscos são identificados e analisados. Com base na informação recolhida é iniciado o desenvolvimento aplicacional. Muito dificilmente o resultado será um sistema completo e que responda a todas as necessidades do cliente, pois existem sempre requisitos que não foram contemplados, dos quais a equipa de desenvolvimento não se tenha apercebido. Surge então um protótipo que é avaliado pelo cliente, podendo desta avaliação emergir sugestões para modificações. Baseada nessas sugestões, tem início uma nova fase de identificação do projecto, surge sempre uma questão: continuar ou

não? De facto, se os riscos forem muito grandes, por vezes é aconselhável cancelar o projecto. No entanto, na maioria dos casos o processo continua, aparecendo a cada passo um sistema mais completo até se chegar ao sistema final desejado ou algo muito próximo desse desiderato.

Esse modelo facilita a interacção entre o cliente e os projectistas e a reacção aos riscos em cada iteração à volta da espiral.

Em cada fase de desenvolvimento é criada a documentação indispensável ao bom desenvolvimento da câmara de combustão e que será utilizada para uma posterior manutenção da mesma.

Em muitas das iterações à volta da espiral, nem todas as actividades se revelaram necessárias. Por vezes, na fase da engenharia, nota-se que certas funcionalidades deveriam ser acrescentadas, pelo que se procede à sua implementação sem que seja necessário recorrer a uma fase de análise intermédia. Outras vezes, após a análise de requisitos de uma nova iteração não se segue uma análise de risco, passando-se logo à fase seguinte.

2 Apresentação do caso de estudo

O projecto a realizar na BOSCH Termotecnologia foi uma continuação do trabalho já iniciado por alguns colegas do departamento de desenvolvimento. Com o objectivo de se atingir melhor rendimento energético, todo o trabalho se desenvolveu com o intuito de fazer cumprir a Directiva 92/42/CEE do Conselho de 21 de Maio de 1992.

Esta directiva prevê a promoção do rendimento energético na Comunidade Europeia no âmbito do programa SAVE, e determina as exigências de rendimento aplicáveis às novas caldeiras de água quente alimentadas com combustíveis líquidos ou gasosos, de potência nominal igual ou superior a 4 kW e igual ou inferior a 400 kW, não abrangendo a preparação instantânea de águas quentes sanitárias.

Os diferentes tipos de caldeiras devem respeitar níveis de rendimento úteis: em funcionamento à potência nominal P_n expressa em kW, para uma temperatura média da água na caldeira de 70°C, e em carga parcial, isto é, em funcionamento à carga parcial de 30% para uma temperatura média da água na caldeira variável em função do tipo de caldeira. Para as caldeiras, a directiva impõe à carga parcial uma temperatura de entrada de água na caldeira de 30°C.

Os níveis de rendimento úteis mínimos aceites para cada tipo de aparelhos encontram-se na tabela 1-4:

Tipo de caldeiras	Intervalos de potência	Rendimento à potência nominal		Rendimento em carga parcial	
	kW	Temperatura média da água da caldeira (em °C)	Expressão da exigência de rendimento (em %)	Temperatura média da água na caldeira (em °C)	Expressão da exigência de rendimento (em %)
Caldeiras padrão	4 a 400	70	$\geq 84 + 2 \log P_n$	≥ 50	$\geq 80 + 3 \log P_n$
Caldeiras de baixa temperatura (*)	4 a 400	70	$\geq 87,5 + 1,5 \log P_n$	40	$\geq 87,5 + 1,5 \log P_n$
Caldeiras de gás de condensação	4 a 400	70	$\geq 91 + 1 \log P_n$	30 (**)	$\geq 97 + 1 \log P_n$

(*) Incluindo as caldeiras de condensação que utilizem combustíveis líquidos.

(**) Temperatura da água de alimentação da caldeira.

Tabela 2-1 - Rendimentos úteis mínimos

As exigências de rendimento, relativas à marcação de estrelas, e que devem ser respeitadas simultaneamente à potência nominal e à carga parcial de 0,3 Pn são as seguintes:

Exigências de rendimento que devem ser respeitadas simultaneamente à potência nominal e à carga parcial de 0,3 Pn

Marcação	Exigência de rendimento à potência nominal Pn e a uma temperatura média da água da caldeira de 70 ° C %	Exigência de rendimento à carga parcial de 0,3 Pn e a uma temperatura média da água da caldeira de ≥ 50 ° C %
★	$\geq 84 + 2 \log Pn$	$\geq 80 + 3 \log Pn$
★★	$\geq 87 + 2 \log Pn$	$\geq 83 + 3 \log Pn$
★★★	$\geq 90 + 2 \log Pn$	$\geq 86 + 3 \log Pn$
★★★★	$\geq 93 + 2 \log Pn$	$\geq 89 + 3 \log Pn$

Tabela 2-2 - Exigências de rendimentos relativas à marcação de estrelas

Uma primeira abordagem realizada no caso de estudo foi a utilização da câmara de combustão seca com 5 passagens no permutador, ou seja, a não utilização do cobre na “saia” da câmara de combustão com a respectiva serpentina de arrefecimento e a utilização de mais uma passagem no permutador. Assim a solução poderia passar pela utilização de chapa de aço com um isolamento refractário. Do ponto de vista técnico a solução câmara seca seria uma solução teoricamente possível no que respeita à transferência de calor, mas em relação à higiene da combustão já não se pode dizer o mesmo, já que seriam de esperar temperaturas de chama mais elevadas o que levaria a um incremento nas emissões de NO_x. Nos testes preliminares de caudal esta solução conseguiu aproximar-se bastante do objectivo pretendido, ou seja, os 17,2 l/min de caudal de água. Apesar dos bons resultados conseguidos nesta primeira análise a solução câmara seca tem alguns problemas no que respeita aos produtos da combustão. Assim se se evoluísse na câmara seca teria se que se partir praticamente do zero para se chegarem a concentrações de alguns dos produtos de combustão dentro dos limites impostos pela legislação. A batalha dos produtos de combustão é já bastante conhecida e quem trabalha diariamente com esta matéria sabe quais são os principais pontos a alterar para se fazer variar uma ou outra concentração.

Assim sendo, e como a solução da câmara seca não apresentava vantagens muito significativas, decidiu-se avançar por uma via que recorresse à câmara de combustão tradicional (já conhecida no que respeita à combustão), tentando otimizar apenas a parte relativa ao caudal e à transferência de calor. A solução de adaptação e optimização do esquentador WORLD 2 destinado ao mercado dos EUA e

com potências mais elevadas, seria então a outra via a seguir. Este aparelho com potências mais elevadas que os esquentadores tradicionais, utiliza um sistema de combustão em pré-mistura com 2 ventiladores de insuflação de ar, o que garante à potência máxima emissões de NO_x inferiores a 55 ppm e CO inferiores a 250 ppm. Poderia-se ter assim boas expectativas das emissões deste tipo de sistema de combustão. No seguimento da análise anterior, iniciou-se um estudo mais aprofundado das perdas de carga localizadas e lineares deste sistema, com o objectivo de, utilizando uma célula de combustão em pré-mistura de um WORLD 2 53 kW (com condensação), atingir-se um caudal de água de 17,2 l/min, regulando o aparelho para uma diferença de temperatura entre a entrada e a saída de 20°C.

O WORLD 2 standard utiliza um circuito de água em série (Figura 2-33) e que percorre o seguinte caminho: condensador de 2 passagens - permutador primário de 4 passagens - “saia”. Sendo o percurso da água em série, este modelo tem bastante perda de carga, apresentado para 200 mbar de diferencial de pressão disponível da bomba, um caudal de 4,3 l/min. Quando se fala de um diferencial de 200 mbar de pressão está-se a falar de uma diferença de pressão entre a entrada de água do aparelho e a saída. Apesar deste não ser o caudal real do aparelho em funcionamento, a norma de ensaio impõe para o cálculo da potência retirada, que se utilize o caudal de água quando a pressão disponível na bomba é de 200 mbar.

Assim, após esta breve reflexão, podemos concluir que as duas soluções possíveis para se atingirem os objectivos pretendidos seriam a câmara seca com permutador 5 passagens ou a optimização do World 2.

Como já se referiu, atendendo aos problemas que se iriam levantar em termos de emissões de NO_x com a câmara de combustão seca, optou-se por se estudarem as possíveis alterações à distribuição do escoamento de água na câmara de combustão do WORLD 2, pois esta seria a aproximação que iria ter maiores hipóteses de sucesso a curto prazo.

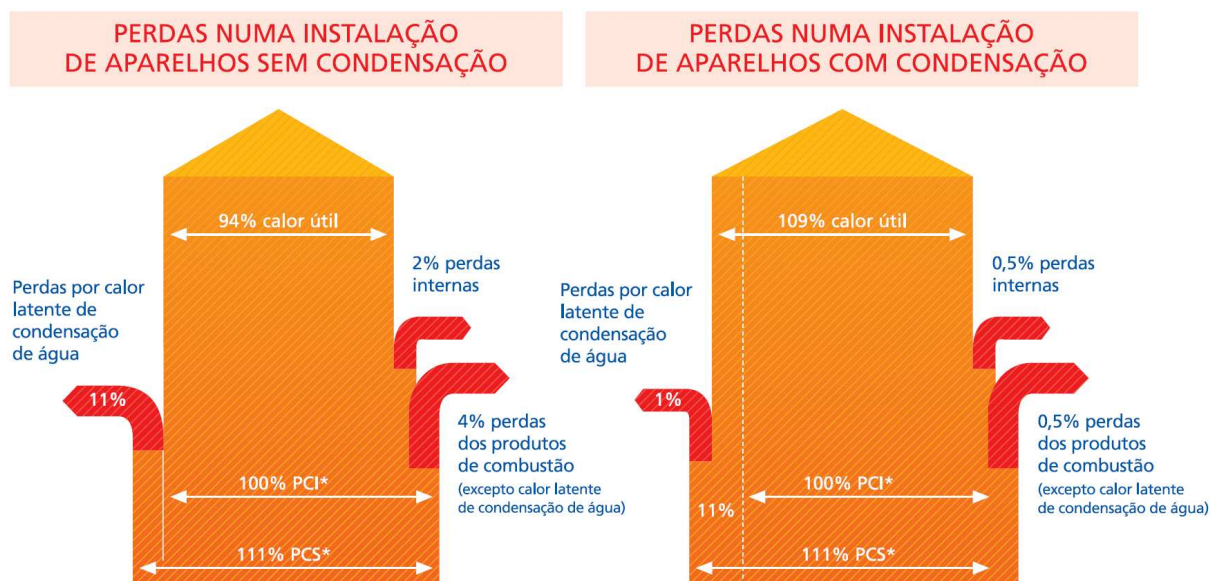


Figura 2-1 - Perdas caloríficas dos aparelhos sem e com condensação



Figura 2-2 - Relação não condensação/ condensação

Concluindo, teria-se uma boa possibilidade de ter sucesso utilizando um circuito paralelo com baixa perda de carga e logo um caudal mais optimizado, e aplicando esse circuito paralelo à fornalha do WORLD 2 com condensação, garantindo-se a máxima potência transferida e uma boa higiene da combustão.

A solução circuito paralelo utilizada assenta no princípio físico das resistências eléctricas. Fazendo a analogia com um circuito eléctrico, a resistência em série é superior ao equivalente de igual valor em paralelo.

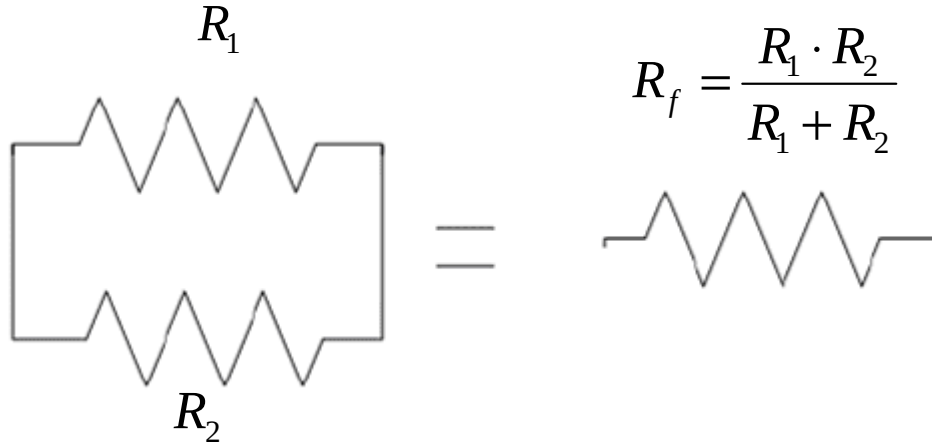


Figura 2-3 - Analogia das resistências paralelas

Para o estudo do sistema considerando perdas de carga iguais temos:

$$\frac{1}{R_f} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} \Leftrightarrow \frac{1}{R_f} = \frac{2}{R} \Leftrightarrow R_f = \frac{R}{2}$$

(Equação 2-1)

Para o estudo do sistema considerando perdas de carga diferentes temos:

$$\frac{1}{R_f} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Leftrightarrow R_f = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

(Equação 2-2)

Com base nesta analogia, o circuito hidráulico em paralelo oferece menor resistência que o circuito em série actual.

Na construção dos protótipos com circuito paralelo utilizaram-se soluções maquinadas em latão para fazer a divisão e junção dos caudais de água. Abaixo no esquema podem-se observar as duas soluções utilizadas.



Para os primeiros dois protótipos os elementos em forma de Y utilizados foram os que se apresentam na figura. Têm uma disposição vertical e são em latão maquinado, com um diâmetro interior de 15 mm.



Após a optimização dos circuitos paralelos optou-se por Y's em cotovelo, com diâmetro interior de 15 mm.



A montagem dos Y's no circuito de água foi feita nas posições indicadas na Figura 2-4. Os Y's (divergente e convergente) são elementos com diâmetro interior de 15 mm, de igual material, igual dimensão, e que foram soldados aos tubos de cobre.

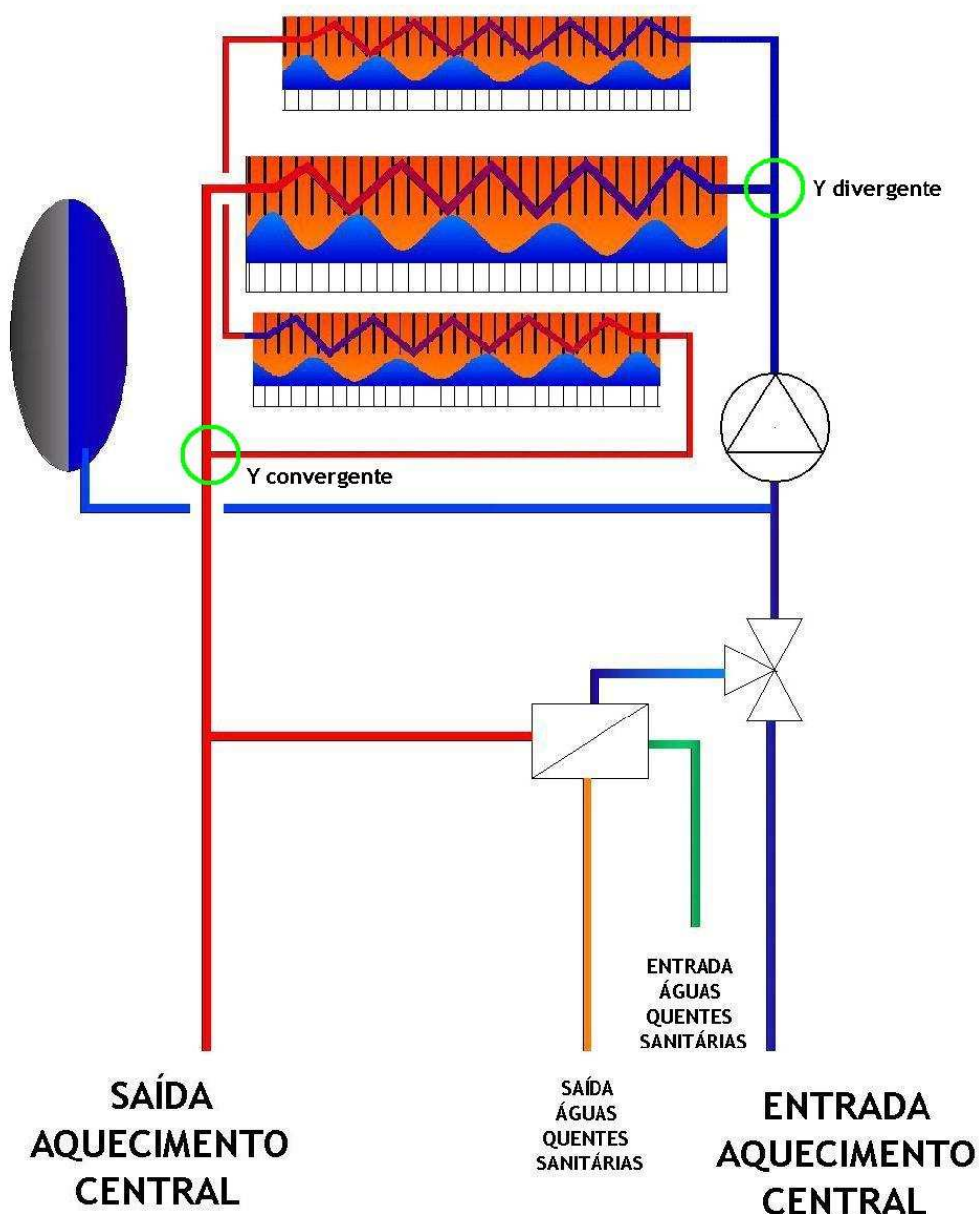


Figura 2-4 - Esquema do posicionamento dos Y's no circuito paralelo

2.1 Tipos de gases

Gases combustíveis

Qualquer tipo de gases derivados de combustíveis fósseis pode ser dividido, segundo a norma **UNE60.2002**, em três famílias: gases da primeira família, gases da segunda família, gases da terceira família.

2.1.1 Gases da primeira família

Os gases da primeira família contêm os chamados gases manufacturados, que são obtidos em fábricas de produção de gás através de processos com naftas químicas ou carvão. São também denominados por gás de cidade, pois a sua produção nas grandes fábricas de gás era vocacionada para o abastecimento das cidades, através de condutas subterrâneas oriundas das respectivas fábricas de gás (Lisboa é um desses casos). Os gases da primeira família têm a particularidade de serem distribuídos no estado gasoso, pois a proporção de H_2 é elevada demais para permitir a sua liquefacção.

Na Tabela 2-3 podemos verificar algumas das características presentes nos gases da primeira família.

	Gás de cidade	Ar metanado	Ar propanado
Poder calorífico superior (PCS)	17598 kJ/m ³	16760-20950 kJ/m ³	20531-21788 kJ/m ³
Poder calorífico inferior (PCI)	15922 kJ/m ³	15293-18855 kJ/m ³	18436-19944 kJ/m ³
Índice de Wobbe	20950-23883 kJ/m ³	18436-21788 kJ/m ³	19274-21369 kJ/m ³
Potencial de combustão	58-92	34-36	33-51
Densidade relativa	0,52-0,72	0,81-0,88	0,8-1,2

Tabela 2-3 - Propriedades dos gases da primeira família

2.1.2 Gases da segunda família

Os gases da segunda família correspondem aos gases que são obtidos a partir do subsolo. Estes gases formam-se em cavidades da crosta terrestre por via da deterioração da matéria orgânica (semelhante a uma oxidação lenta), durante períodos da ordem dos milhões de anos. Dessa deterioração produzem-se hidrocarbonetos gasosos (gases da segunda família), líquidos (ex. crude) e sólidos (ex. hulhas). Os gases de segunda família são compostos de metano (CH_4) e variam mediante a percentagem de metano no gás. São difíceis de liquefazer devido ao alto teor em hidrogénio e podem ser substituídos pelo ar propanado (se possuírem entre si valores próximos do índice de *Wobbe* e *Delbourg*).

Este tipo de gás, devido à sua origem, é também chamado de gás natural, e é transportado, geralmente, a partir de jazidas na Líbia, Argélia e Nigéria (considerando o mercado Ibérico como ponto receptor). Representa um produto em expansão muito rápida devido ao facto da sua combustão com o ar produzir água e CO_2 em pequenas quantidades, ao contrário dos outros combustíveis fósseis. A facilidade de extracção e transporte também torna os gases da segunda família muito atractivos para a geração de energia.

	Gás natural
Poder calorífico superior (PCS)	39805-43157kJ/m ³
Poder calorífico inferior (PCI)	36034-38967 kJ/m ³
Índice de Wobbe	48185-55308 kJ/m ³
Potencial de combustão	42-66
Densidade relativa	0,57-0,78

Tabela 2-4 - Propriedades dos gases da segunda família

A segunda família de gases combustíveis engloba o gás que, quimicamente é uma mistura de hidrocarbonetos gasosos, principalmente metano (CH_4), proveniente de jazidas subterrâneas. A sua produção está normalmente associada à do petróleo.

O gás transportado não deve ser corrosivo, isto é, não deve reagir quimicamente com os materiais constituintes das tubagens de transporte, nem

deve modificar as propriedades físicas dos seus materiais, devendo o gás natural exibir determinadas características a nível da composição, tornando necessário o seu posterior tratamento, com os objectivos de:

- Eliminar os compostos prejudiciais à utilização do gás:
 - Hidróxido de enxofre (H_2S): tóxico, corrosivo e fragilizante;
 - Dióxido de carbono (CO_2): corrosivo na presença de água e de valor térmico nulo;
 - Água (H_2O): formação de hidratos;
 - Hidrocarbonetos pesados: condensação no interior das tubagens.
- Recuperar as fracções com valor comercial:
 - Etano (C_2H_6);
 - Propano (C_3H_8);
 - Butano (C_4H_{10}).

A liquefacção do gás natural permite não só armazenar, mas também transportar grandes quantidades de gás em condições técnico-economicamente viáveis. A pressão atmosférica, o gás natural liquefaz-se a temperatura de $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$, isto é, 580 m^3 de gás natural no estado gasoso correspondem a 1 m^3 de gás natural no estado líquido. Os gases da segunda família podem substituídos pelo *ar propanado*.

Gas Family	Test gases	Designation	Composition by volume %	W_i MJ/m ³	H_i MJ/m ³	W_s MJ/m ³	H_s MJ/m ³	d
Group H	Reference gas	G 20	$CH_4 = 100$	48,20	35,90	53,61	39,94	0,555
Group L	Reference gas and light-back limit gas	G 25	$CH_4 = 86$ $N_2 = 14$	39,45	30,87	43,88	34,34	0,613
Group E	Reference gas	G 20	$CH_4 = 100$	48,20	35,90	53,61	39,94	0,555

Tabela 2-5 - Características dos gases da segunda família com $T=0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $P=1013,25\text{ mbar}$

2.1.3 Gases da terceira família

Os gases da terceira família são gases produzidos pelo petróleo, durante o processo de destilação do crude. Estes gases também são denominados por G.P.L., fazendo alusão ao facto de serem comercializados no estado líquido e serem produzidos a partir do petróleo. Esta característica de serem liquefeitos (reduz cerca de 250 vezes o volume em relação ao estado gasoso) torna-os num tipo de gás com grande capacidade de armazenamento, outro facto é o de possuírem um poder calorífico muito elevado, tornando-os muito apetecíveis para a produção de energia. Os hidrocarbonetos mais comercializados desta família são: o gás butano, o gás propano, e, menos conhecido, o pentano. Estes gases são os mais poluentes das três famílias, no entanto a energia libertada na sua combustão é o dobro das famílias de gases anteriores.

	Propano comercial	Butano comercial
Poder calorífico superior (PCS)	1055885 kJ/m ³ 50489 kJ/m ³	130519 kJ/m ³ 49651 kJ/m ³
Poder calorífico inferior (PCI)	97208 kJ/m ³ 46509 kJ/m ³	120253 kJ/m ³ 45880 kJ/m ³
Densidade relativa	1,62	2,03

Tabela 2-6 - Propriedades dos gases da terceira família

Test gases designation	H_i	H_s
	MJ/kg	MJ/kg
G 30	45,65	49,47
G 31	46,34	50,37
G 32	45,77	48,94

Tabela 2-7 - Poder calorífico de gases da terceira família

A International Gas Union (IGU), reconhecendo que havia uma ampla variação de gases a serem distribuídos ao consumidor, propôs um esquema de classificação baseado no Índice de Wobbe, onde os gases estão divididos em três famílias com um ou mais grupos por família.

O índice de Wobbe é a relação entre o poder calorífico de um gás e a sua densidade e é dado pelas equações seguintes, caso se trate do índice de Wobbe superior (Ws) ou inferior (Wi):

$$W_s = \frac{P.C.S.}{\sqrt{d}} \quad \text{(Equação 2-3)}$$

$$W_i = \frac{P.C.I.}{\sqrt{d}} \quad \text{(Equação 2-4)}$$

Ao contrário do que a palavras índice pretende significar, o índice de Wobbe tem as dimensões do poder calorífico e portanto há que ser cauteloso quando se comparam índices de Wobbe de proveniências diferentes.

Esta classificação de gases proposta pela IGU (adoptada posteriormente pelas normas europeias) levou a que os aparelhos fossem classificados pelas famílias de gases com que estão preparados para funcionar.

2.2 Categorias dos aparelhos de gás

Os aparelhos estão também divididos em Categoria I, II ou III conforme podem funcionar com apenas uma família de gases, com duas famílias de gases ou com as três famílias de gases. Nos aparelhos da Categoria I e II define-se ainda a família e/ou grupo de gás (ex.: Cat. II_{2H3B/P}).

2.2.1 CATEGORIA I

Aparelhos concebidos exclusivamente para a utilização dos gases de uma só família ou de um só grupo a pressões de alimentação fixas. Na Tabela 2-8 estão apresentados os aparelhos da categoria I existentes em Portugal.

Categorias	Descrição
I _{2H}	Aparelhos concebidos para a utilização de gases do grupo H da segunda família
I ₃₊ ou I _{3B/P}	Aparelhos concebidos para a utilização de gases da terceira família (propano e butano) e, no caso do I ₃₊ , aparelhos que funcionam com um par de pressões sem intervenção no aparelho
I _{3P}	Aparelhos concebidos para a utilização de gases do grupo P da terceira família (propano)
I _{3B}	Aparelhos concebidos para a utilização de gases do grupo B da terceira família (butano)

Tabela 2-8 - Descrição das características dos aparelhos da categoria I existentes em Portugal

Entende-se por par de pressões o conjunto de duas pressões distintas aplicadas devido ao facto de existirem diferenças significativas entre os índices de Wobbe entre gases da mesma família ou do mesmo grupo: a pressão mais elevada corresponde apenas aos gases de índice de Wobbe mais baixo e vice-versa.

2.2.2 CATEGORIA II

Aparelhos concebidos para a utilização dos gases de duas famílias a pressões de alimentação fixas. Na tabela estão apresentados os aparelhos da categoria II existentes em Portugal.

Categorias	Descrição
II_{2H3+} ou $II_{2H3B/P}$	Aparelhos concebidos para a utilização de gases do grupo H da segunda família e de gases da terceira família (propano e butano)
II_{2H3P}	Aparelhos concebidos para a utilização de gases do grupo H da segunda família e de gases do grupo P da terceira família (propano)

Tabela 2-9 - Descrição das características dos aparelhos da categoria II existentes em Portugal

2.2.3 CATEGORIA III

Aparelhos concebidos para a utilização dos gases das três famílias a pressões de alimentação fixas. Em Portugal esta categoria não tem utilização geral.

A inter mutabilidade dos gases combustíveis pode ser definida como a capacidade de substituição de um gás combustível por outro de família diferente num queimador, mantendo as características satisfatórias da combustão, tais como o não ocorrência de fenómenos como descolamento da chama, retorno da chama ou pontas amarelas, sem exigir alterações construtivas significativas do queimador.

A inter mutabilidade dos gases considera:

- As propriedades dos gases, como a densidade e o poder calorífico;
- As condições de suprimento, em particular a pressão;
- A natureza dos equipamentos e a capacidade de estes funcionarem com diferentes gases;
- A afinação dos equipamentos;
- Os critérios de avaliação que definem o funcionamento satisfatório.

Após a troca do gás combustível, devem ser mantidos os seguintes aspectos:

- Estabilidade da chama;
- Não formação de monóxido de carbono (CO);
- Potência térmica satisfatória;
- Acendimento por ignição forçada;
- Ruído mínimo;
- Não formação de erosão ou corrosão dos equipamentos.

As modificações nos queimadores devem-se resumir ao ajuste do ar primário e da taxa de alimentação de gás para não implicar uma mudança construtiva do equipamento.

Dadas as diferentes características físico-químicas dos gases combustíveis, manter invariáveis as condições de combustão em diferentes equipamentos após a substituição é uma tarefa delicada. As principais dificuldades devem-se:

- Relação ar/gás da mistura;
- Velocidade, temperatura e comprimento da chama;
- Densidade do gás.

Os mecanismos de solução dos problemas de inter mutabilidade são baseados na modificação do gás substituto ou do processo de combustão através dos processos seguintes:

- Adição ou extracção de elementos - mistura ou separação de elementos do gás substituto;
- Modificação dos equipamentos - ajuste das condições de operação como pressão e aeração primária.

O índice de Delbourg ou potencial de combustão (D) é um índice de proporcionalidade que está directamente relacionado com a velocidade de propagação da chama, e juntamente com o índice de Wobbe (W) permite a definição de um diagrama de inter mutabilidade dos gases (Figura 2-5), como mostra a figura seguinte. Dois gases podem ser considerados intermutáveis se a sua utilização for possível indistintamente para o mesmo queimador não afectando o correcto funcionamento do mesmo.

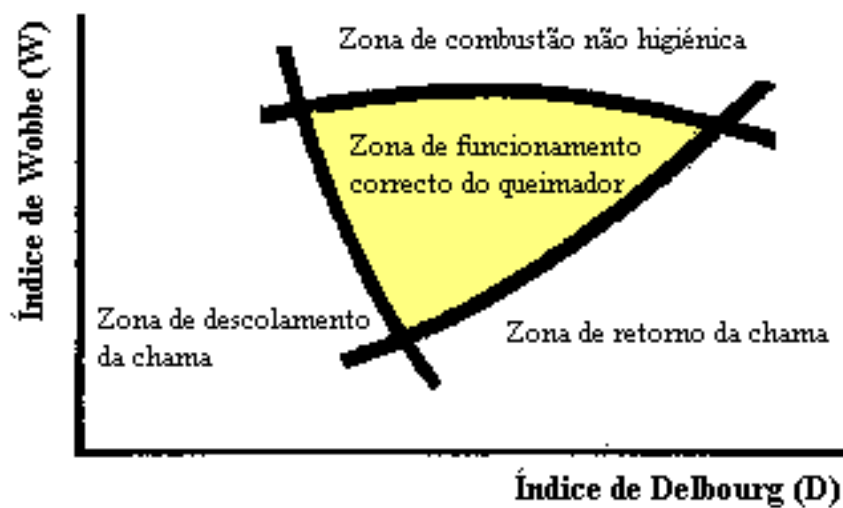


Figura 2-5 - Representação esquemática do diagrama de intermutabilidade de um queimador

Gas Family	Test gases	Designation	Composition by volume %	W_i MJ/m ³	H_i MJ/m ³	W_s MJ/m ³	H_s MJ/m ³	d
Gases of the first family								
Group a	Reference gas Incomplete combustion, lift and sooting limit gas	G 110	CH ₄ = 26 H ₂ = 50 N ₂ = 24	21,76	13,95	24,75	15,87	0,411
	Light-back limit gas	G 112	CH ₄ = 17 H ₂ = 59 N ₂ = 24	19,48	11,81	22,36	13,56	0,367

Gases of the second family								
Group H	Reference gas	G 20	CH ₄ = 100	45,67	34,02	50,72	37,78	0,555
	Incomplete combustion and sooting limit gas	G 21	CH ₄ = 87 C ₃ H ₈ = 13	49,60	41,01	54,76	45,28	0,684
	Light-back limit gas	G 222	CH ₄ = 77 H ₂ = 23	42,87	28,53	47,87	31,86	0,443
	Flame lift limit gas	G 23	CH ₄ = 92,5 N ₂ = 7,5	41,11	31,46	45,66	34,95	0,586
Group L	Reference gas and light-back limit gas	G 25	CH ₄ = 86 N ₂ = 14	37,38	29,25	41,52	32,49	0,612
	Incomplete combustion and sooting limit gas	G 26	CH ₄ = 80 C ₃ H ₈ = 7 N ₂ = 13	40,52	33,36	44,83	36,91	0,678
	Flame lift limit gas	G 27	CH ₄ = 82 N ₂ = 18	35,17	27,89	39,06	30,98	0,629
Group E	Reference gas	G 20	CH ₄ = 100	45,67	34,02	50,72	37,78	0,555
	Incomplete combustion and sooting limit gas	G 21	CH ₄ = 87 C ₃ H ₈ = 13	49,60	41,01	54,76	45,28	0,684
	Light-back limit gas	G 222	CH ₄ = 77 H ₂ = 23	42,87	28,53	47,87	31,86	0,443
	Flame lift limit gas	G 231	CH ₄ = 85 N ₂ = 15	36,82	28,91	40,90	32,11	0,617

Gases of the third family								
Third Family and Groups 3B/P	Reference gas	G 30	n-C ₄ H ₁₀ = 50 ²⁾ i-C ₄ H ₁₀ = 50	80,58	116,09	87,33	125,81	2,075
	Incomplete combustion and sooting limit gas							
	Flame lift limit gas	G 31	C ₃ H ₈ = 100	70,69	88,00	76,84	95,65	1,550
	Light-back limit gas	G 32	C ₃ H ₆ = 100	68,14	82,78	72,86	88,52	1,476
Group 3P	Reference gas, incomplete com- bustion sooting and flame lift limit gas	G 31	C ₃ H ₈ = 100	70,69	88,00	76,84	95,65	1,550
	Light-back and sooting limit gas	G 32	C ₃ H ₆ = 100	68,14	82,78	72,86	88,52	1,476
1) For gases used nationally or locally, see Annex 1) .1 2) A mixture of iso- and n-butane is permitted								

Tabela 2-10 - Propriedades dos gases da primeira, segunda e terceira família

2.3 Caldeira 24 kW

O conceito técnico caldeira consiste num sistema de produção de energia térmica para aquecimento de águas de um sistema de aquecimento central (AC). Este conceito é fundamental, podendo abranger o sistema de aquecimento de águas sanitárias (AAS).

Na BOSCH Termotecnologia qualquer aparelho (esquentador e caldeira) tem uma determinada especificação ou nome de referência interno que é utilizado para organizar os produtos num sistema de bases de dados. Esta referência representa uma forma de dar um nome a um grupo de aparelhos, em que a respectiva designação codifica informação acerca do mesmo. No caso das caldeiras, a codificação é feita da forma apresentada na tabela seguinte.

Nome de referência - A B C D E F		
Posição no nome de ref.	Tipo de referencia	Significado
A	Z	Caldeira
B	W	Aquecimento de águas sanitárias por escoamento directo
	S	Aquecimento de águas sanitárias por acumulação
C	23 / 23-1	Potência do aparelho – modelo do aparelho (modelo compact /modelo HRD)
D	AE	Aparelho estanque com exaustão forçada
	KE	Aparelho não estanque com exaustão natural
E	23 / 31	Pressão de fornecimento de gás (23-Gás natural / 31-L.P.G)
F	S5705	Código do país que vai comercializar o respectivo aparelho (neste caso a Espanha)

**Tabela 2-11 - Nomenclatura das caldeiras produzidas na BOSCH Termotecnologia S.A.
Aveiro**

Por exemplo, uma caldeira denominada por ZW24-1AE23, representa uma caldeira com as seguintes características funcionais:

- Aquecimento central / aquecimento de águas sanitárias por escoamento directo (ZW24-1AE23);
- Potência útil de 24kW e modelo GZT (ZW24-1AE23);

- Exaustão forçada numa câmara estanque (ZW24-1AE23);
- Gás natural como gás combustível (ZW24-1AE23).

A caldeira GZT é o modelo que neste momento está a ser produzido e desenvolvido pela fábrica.

A caldeira GZT é o último modelo desenvolvido pela fábrica, e corresponde a uma evolução da caldeira HRD para uma caldeira apoiada no conceito de redução de volume, neste caso, 21% menor que o volume da sua antecessora. Esta redução representa um esforço de engenharia excepcional que culmina numa caldeira com características únicas dentro da sua gama de potências, e com um vasto mercado de comercialização, de tal modo que, este último modelo representa presentemente o grosso da produção de caldeiras da BOSCH (cerca de 4/5 da produção).

2.3.1 Componentes GZT - Sistema AE

Os componentes de uma caldeira GZT (sistema AE) consistem fundamentalmente nos mecanismos apresentados na Figura 2-6.

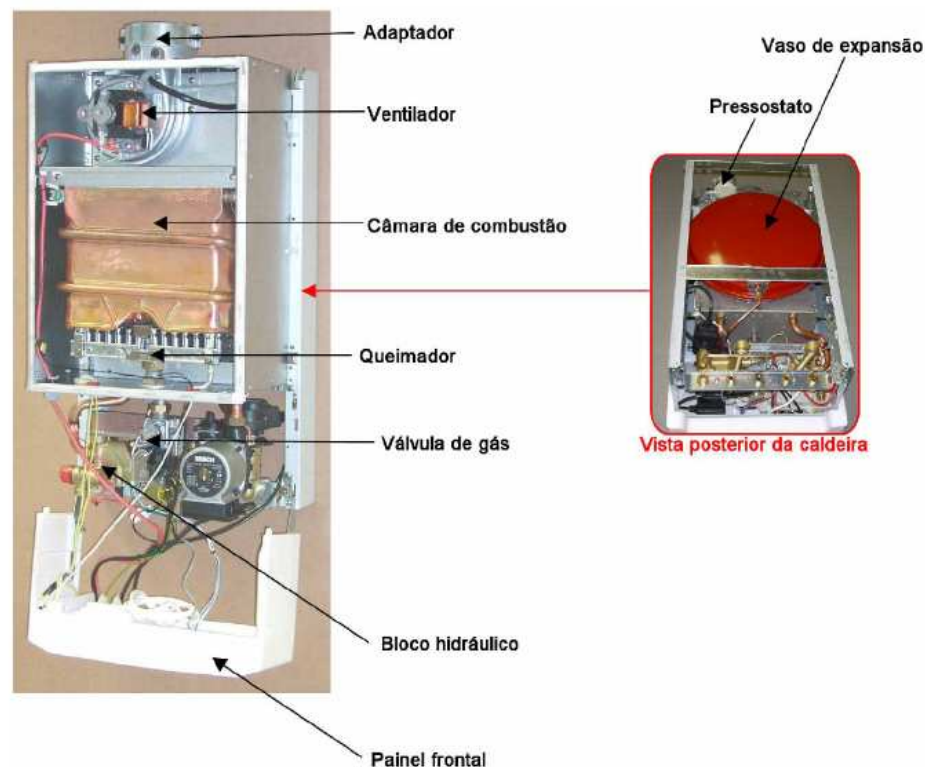


Figura 2-6 - Estrutura da caldeira GZT

O adaptador (Figura 2-7) consiste num sistema que permite fazer a ligação a uma conduta de exaustão com secção coaxial de modo a que não haja contaminação do ar de entrada da caldeira com gases de exaustão. O respectivo adaptador tem uma forma coaxial com diâmetro interno de 80 mm e diâmetro externo de 110 mm.

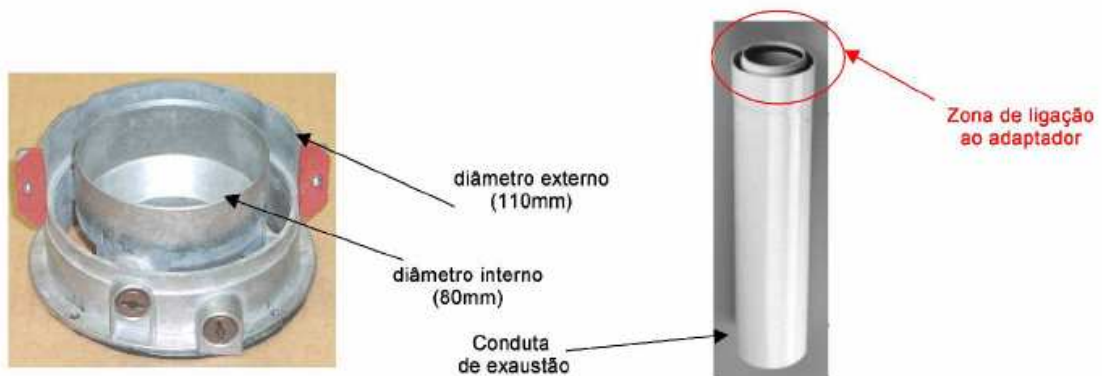


Figura 2-7 - Componentes de exaustão

O ventilador (Figura 2-8) representa o dispositivo que permite a geração de um caudal de ar dentro da caixa estanque da caldeira. No caso da caldeira GZT, o ventilador é monofásico, de 50 W de potência, com uma resistência interna de 44 ohm e a voltagem de serviço é de 230 V (corrente alternada).



Figura 2-8 - Ventilador para caldeira AE

O ventilador é muito importante para o bom funcionamento do sistema, tão importante que uma pequena variação do caudal de ar pode implicar uma combustão anormal. Por esta razão utiliza-se um pressostato. Para garantir que o fluxo de ar se encontra dentro do intervalo de segurança e também para garantir que existe tiragem dos gases de combustão na caldeira. O pressostato não mede caudais de ar mas impõe limites à pressão dinâmica do ar, o que indirectamente controla o fluxo de ar. A pressão dinâmica por sua vez é obtida através da interacção entre a pressão estática e total no pressostato. Estas duas pressões são obtidas por um venturi colocado no ventilador, de forma a poder registar o efeito da pressão total e da pressão estática, à semelhança do que acontece com um tubo de pitot. Na Figura 2-9 podemos visualizar a interacção entre o conjunto ventilador/venturi/pressostato.

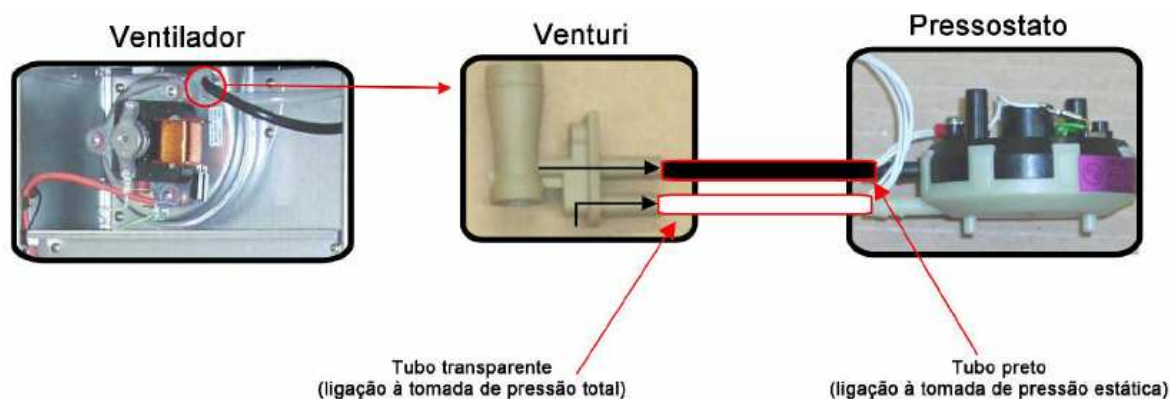


Figura 2-9 - Componentes periféricos do ventilador

O ventilador faz a aspiração dos gases de combustão através de um colector, de modo a que os gases de combustão produzidos sejam exauridos eficazmente. O colector por sua vez está ligado à câmara de combustão, mais precisamente ao permutador de calor da câmara (com 78 alhetas). É neste permutador que ocorre a transferência de calor dos gases quentes de combustão para a água que circula na serpentina da câmara. A respectiva câmara possui um sensor que limita superiormente a temperatura da água a 110°C, à saída do permutador primário. Este sensor é denominado limitador de temperatura.

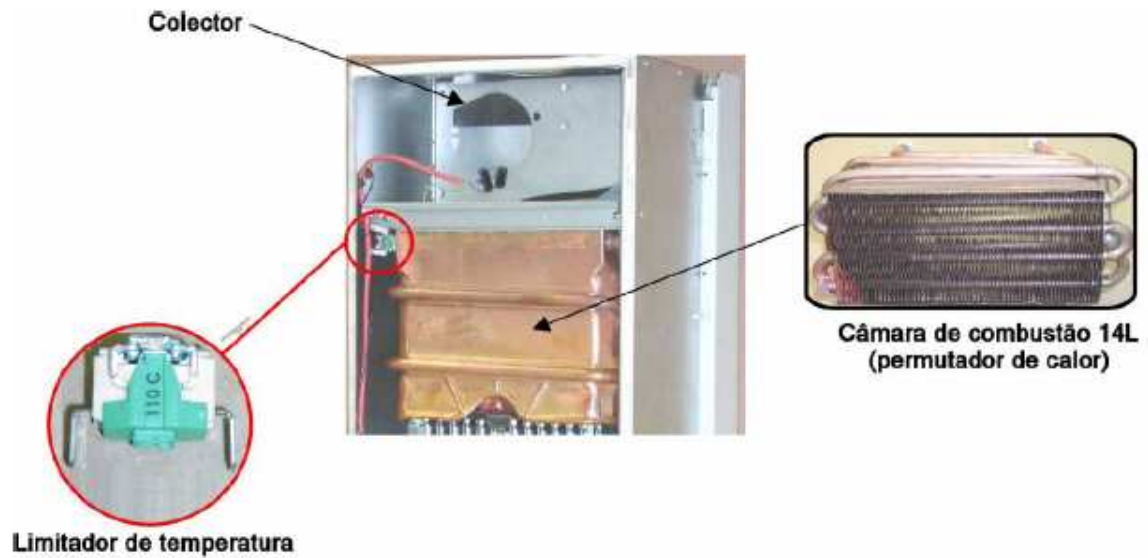


Figura 2-10 - Localização do limitador de temperatura

O queimador representa o componente que permite a combustão do gás combustível. O queimador da caldeira GZT consiste em 14 flautas (tubearias injectoras da mistura reagente) de combustão que fazem a mistura ar/gás, 14 injectores de gás, 1 cachimbo, 1 sensor de ignição que provoca a ignição da mistura ar/gás, 1 sensor de ionização que verifica a existência de chama e uma ponte de sobre-ignição que auxilia o deflagrar da chama a todas as flautas.

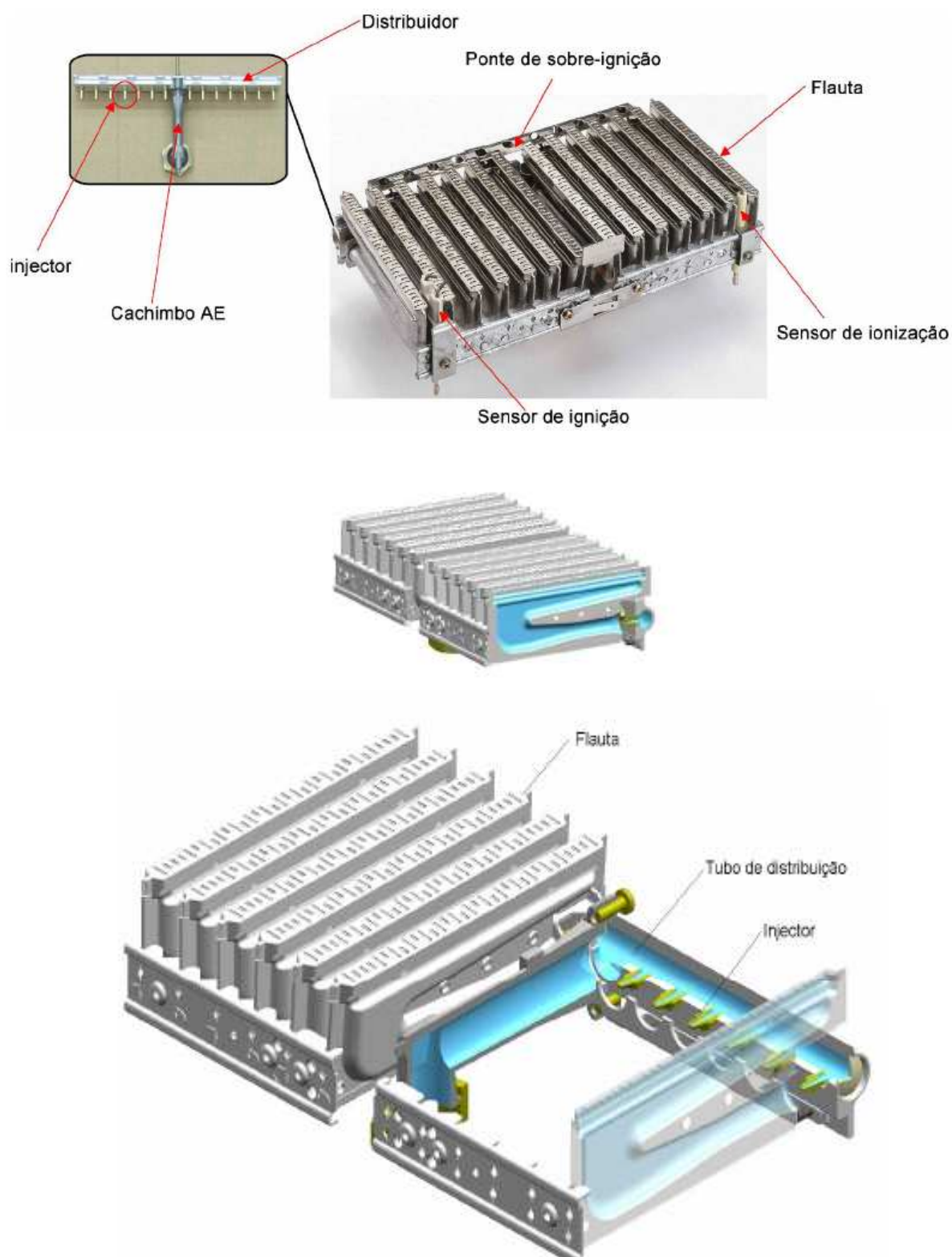


Figura 2-11 - Estrutura típica de um queimador de tubeiras de uma caldeira GZT

O bloco hidráulico é um sistema que permite a geração do caudal de água no sistema de aquecimento central e a sua comutação entre o modo de aquecimento central e o modo de aquecimento de águas sanitárias. É constituído por duas flanges de escoamento de água, a flange de retorno e a flange de avanço. Na flange de retorno estão acoplados os seguintes componentes: uma bomba hidráulica que produz o caudal e a purga de água do sistema primário, um motor de comutação que faz a permuta do sistema a aquecer (sanitário e central), um manómetro que permite verificar a pressão do circuito primário, um fluxostato que dá sinal à caldeira para entrar em funcionamento no modo de aquecimento de águas sanitárias. Por sua vez, na flange de avanço está acoplada um sensor NTC secundário que mede a temperatura da água no sistema secundário (aquecimento de águas sanitárias). O permutador de calor secundário faz o aquecimento das águas sanitárias através da energia calorífica do sistema primário e o sensor NTC primário faz a medição da temperatura de saída da água da câmara de combustão. É importante referir que o permutador de calor secundário e a sonda NTC secundário só existem se o sistema de AQS for de escoamento directo (sistema ZW), no caso de ser por acumulação (sistema ZS) estes componentes não são necessários o que implica que as flanges do bloco hidráulico tenham um desenho interno diferente, sendo o permutador de calor substituído por uma placa de estancamento. Na Figura 2-12 podemos visualizar um bloco hidráulico do modelo GZT-ZW.

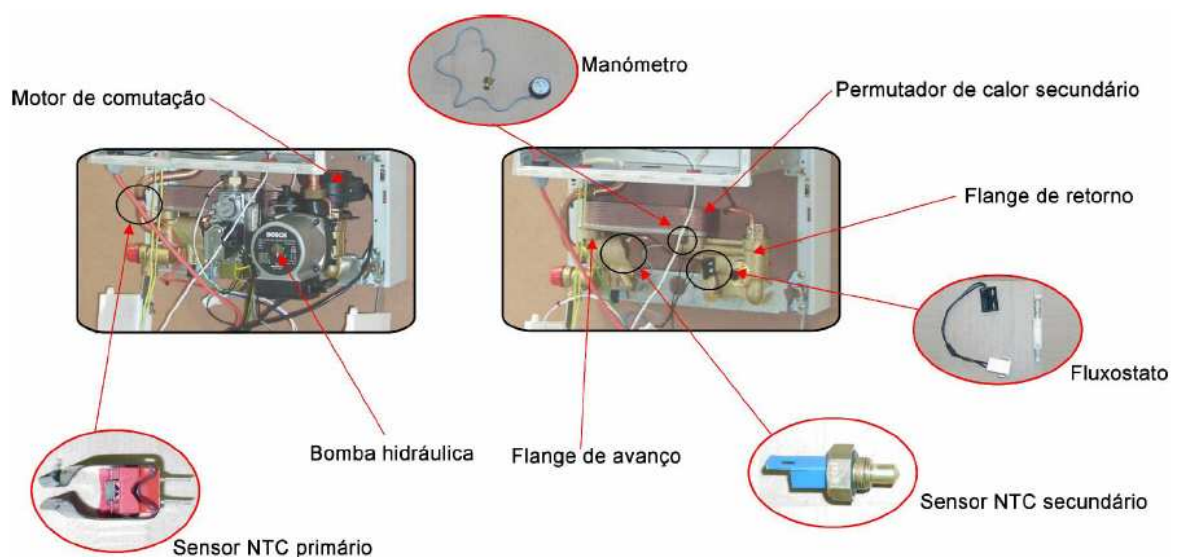


Figura 2-12 - Bloco hidráulico e seus componentes periféricos

A válvula de gás corresponde ao componente que controla o fornecimento de gás para o queimador. O fornecimento é controlado através das informações recolhidas a partir do sensor NTC primário e do sensor NTC secundário pela placa electrónica, permitindo à válvula de gás modelar o fornecimento de gás consoante as imposições térmicas do sistema. A válvula de gás encontra-se ligada ao cachimbo do queimador e ao tubo de gás que representa a entrada de fornecimento de gás.

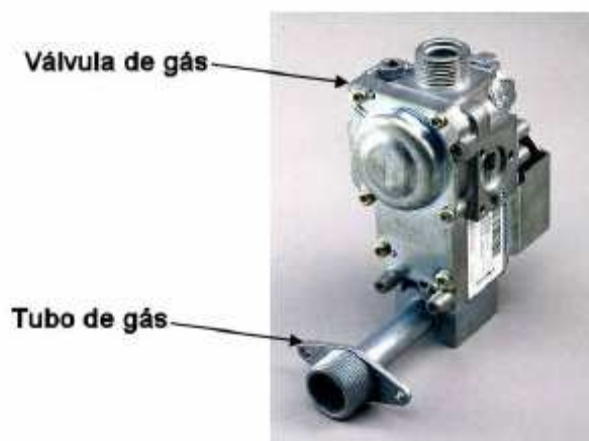


Figura 2-13 - Válvula de gás da caldeira GZT

A válvula de gás funciona entre dois pontos de pressão de saída de gás, pressão mínima e pressão máxima, que implicam correspondentemente a potência mínima e potência máxima do queimador.

Na parte posterior da caldeira, encontra-se o vaso de expansão (Figura 2-14) que permite o ajuste do sistema primário a variações de volume devido às mudanças de temperatura nesse sistema. O vaso permite acomodar um aumento de volume de 6 litros, estando carregado com azoto a 0,75 bar (pressão relativa) sendo pressão máxima admissível de 3 bar. A ligação do vaso de expansão é realizada numa tomada de pressão localizada na bomba.

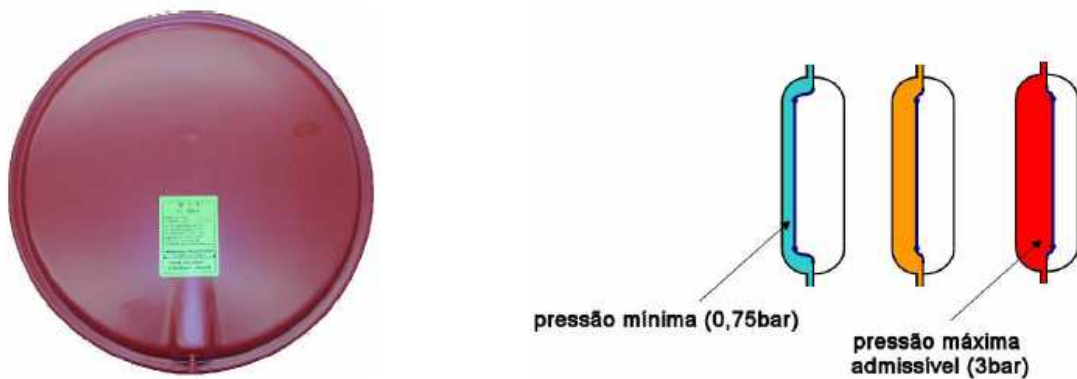


Figura 2-14 - Vaso de expansão e seu funcionamento

O painel frontal da caldeira GZT (PCB) incorpora a placa electrónica e os manípulos de controlo. O objectivo do painel frontal é fornecer os comandos necessários para o utilizador poder dar instruções ao sistema de controlo da caldeira (Figura 2-15).

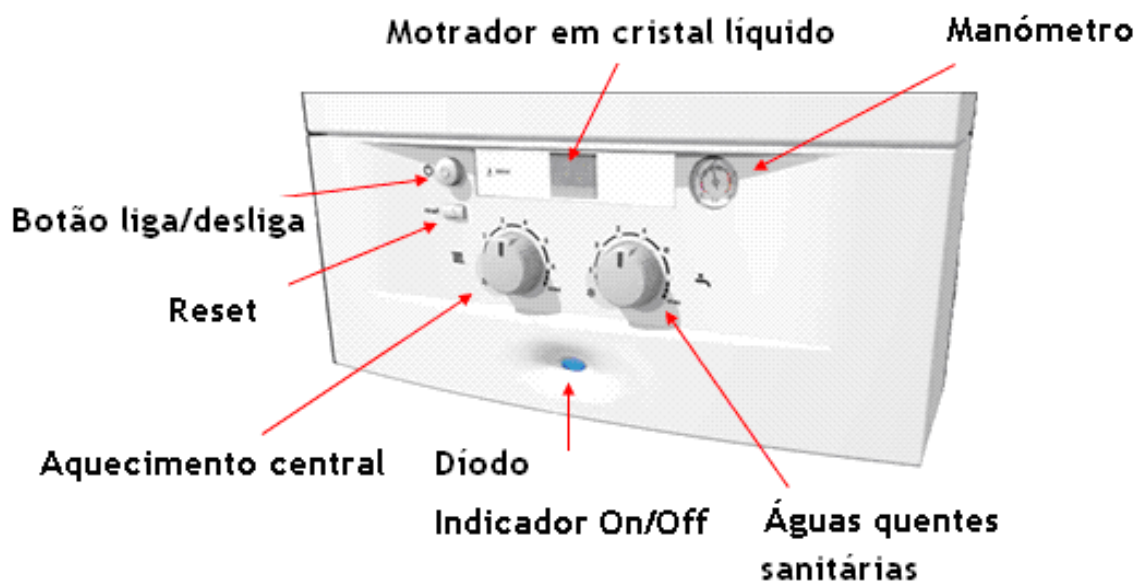


Figura 2-15 - Painel frontal da caldeira GZT

A placa electrónica (Figura 2-16) corresponde a uma placa mãe que recebe todas as informações de entrada dos sensores instalados no sistema (como o pressostato, as sondas NTC, etc) e emite os sinais para os componentes da caldeira

(ventilador, sensor de ignição, válvula de gás, etc.) de acordo com o algoritmo que está estabelecido no PCB.



Figura 2-16 - Placa electrónica típica de uma caldeira GZT

2.3.2 Funcionamento

O funcionamento de uma caldeira consiste em quatro modos distintos, tendo em conta o tipo de águas a aquecer e o seu escoamento (sanitárias ou centrais; Tabela 2-12).

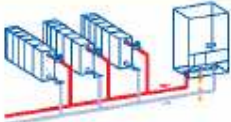
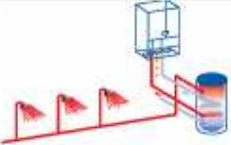
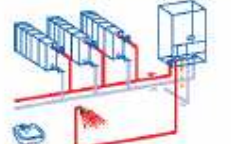
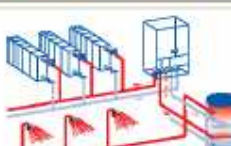
	Z – Fornecimento de água quente exclusivamente para aquecimento central	
	ZS – Fornecimento de água quente exclusivamente para aquecimento sanitário por acumulação (através de um depósito de acumulação).	
	ZW – Fornecimento de água quente para aquecimento central e sanitário por escoamento directo	
	ZS – Fornecimento de água quente para aquecimento central e sanitário por acumulação (águas sanitárias geridas por um depósito de acumulação)	Legenda:  água quente  água fria  gás

Tabela 2-12 - Modos de funcionamento de uma caldeira GZT

Tendo em conta um sistema AE (Tabela 2-11), com fornecimento de água quente para aquecimento central e sanitário por escoamento directo, o funcionamento da caldeira pode ser accionado mediante dois cenários:

- 1 - Temperatura da água do circuito primário é menor que a temperatura predefinida;
- 2 - Accionamento do fluxostato, que indica a necessidade energéticas para águas sanitárias. É importante referir que as águas quentes sanitárias (AQS) são prioritárias em relação ao aquecimento central (AC).

Se ocorrer o cenário 1 é dado o início ao accionamento do queimador. O accionamento do queimador não ocorre imediatamente, mas sim após um conjunto de contra-medidas para garantir a segurança do utilizador e a melhor performance do queimador. Assim, antes do queimador ser accionado ocorrem as medidas apresentadas na Figura 2-17.

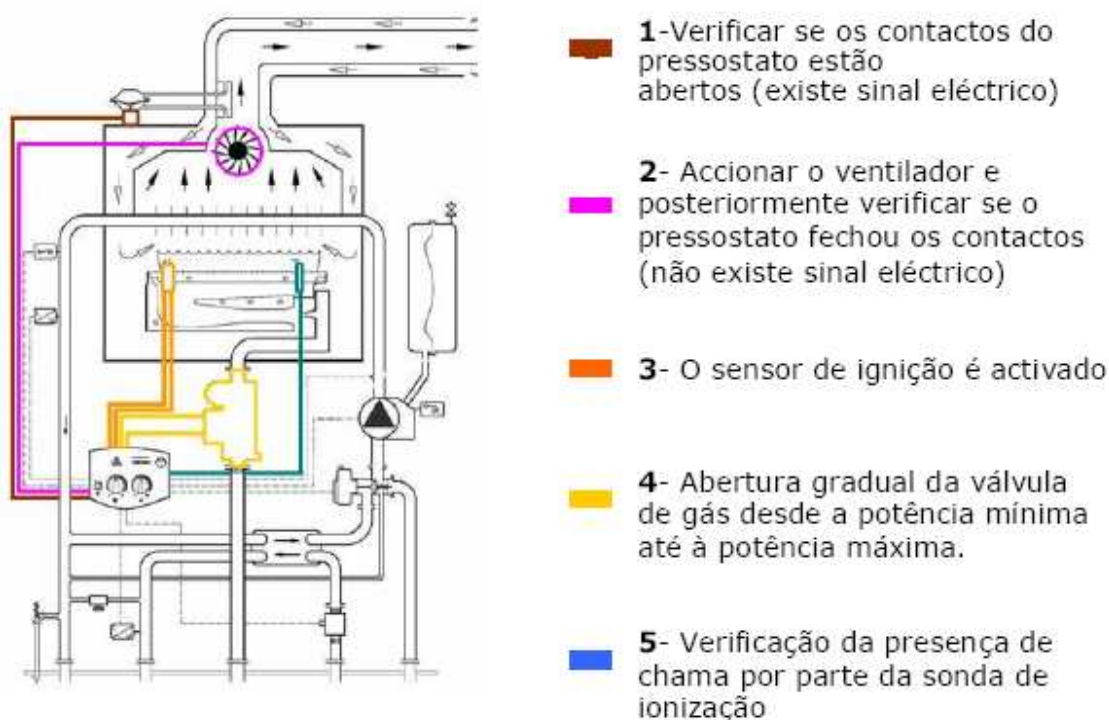


Figura 2-17 - Pré-sequência de accionamento do queimador

Se o queimador não funcionar após 8 s, a partir do ponto 1, a caldeira volta a tentar a sequência da Figura 2-17. Se o queimador não ligar após três tentativas o sistema electrónico bloqueia a caldeira.

Quando a sequência anterior ocorre, a bomba já está a funcionar e o motor de comutação está accionado de modo a mudar a posição da válvula de três vias para a posição de AC.



Figura 2-18 - Funcionamento de uma válvula de 3 vias. Imagens: motor e respectiva válvula de 3 vias

Accionado o queimador, e após 90 s, a válvula de gás entra em modelação de forma a racionalizar a potência de gás consoante o sinal enviado pelo sensor NTC primário. Na Figura 2-19 podemos visualizar o funcionamento da caldeira em modo de aquecimento central (sistema ZW/AC).

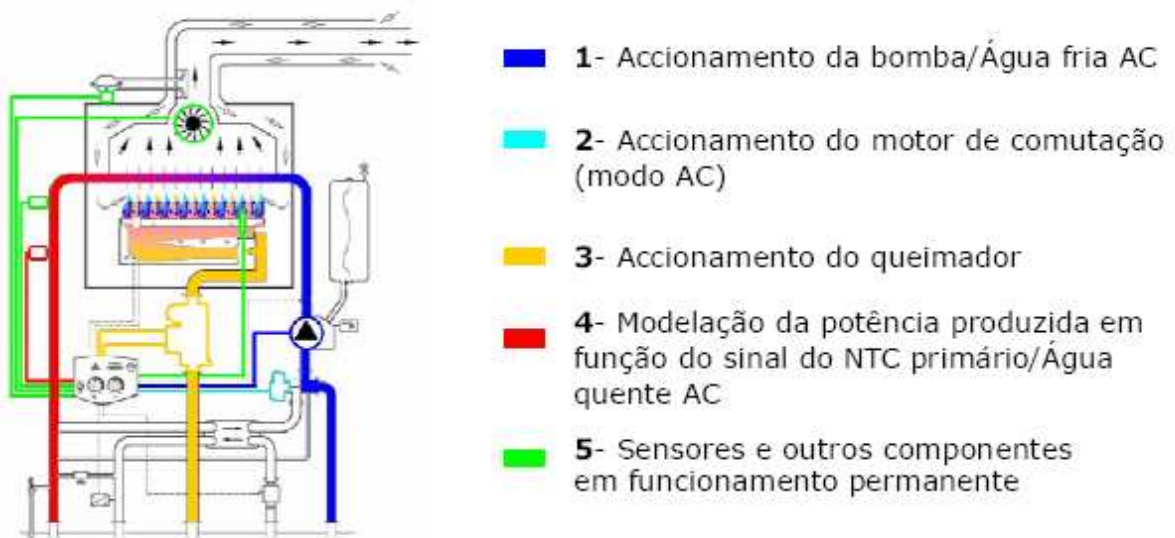


Figura 2-19 - Funcioanmento da caldeira com sistema AE em sistema ZW/AC

Se ocorrer o cenário 2, dá-se início ao accionamento do queimador (Figura 2-20) e o circuito AC é bloqueado, sendo o calor do circuito primário transferido, através do permutador de calor secundário, para o circuito de águas sanitárias. Na figura podemos visualizar a sequência de funcionamento do sistema de AQS.

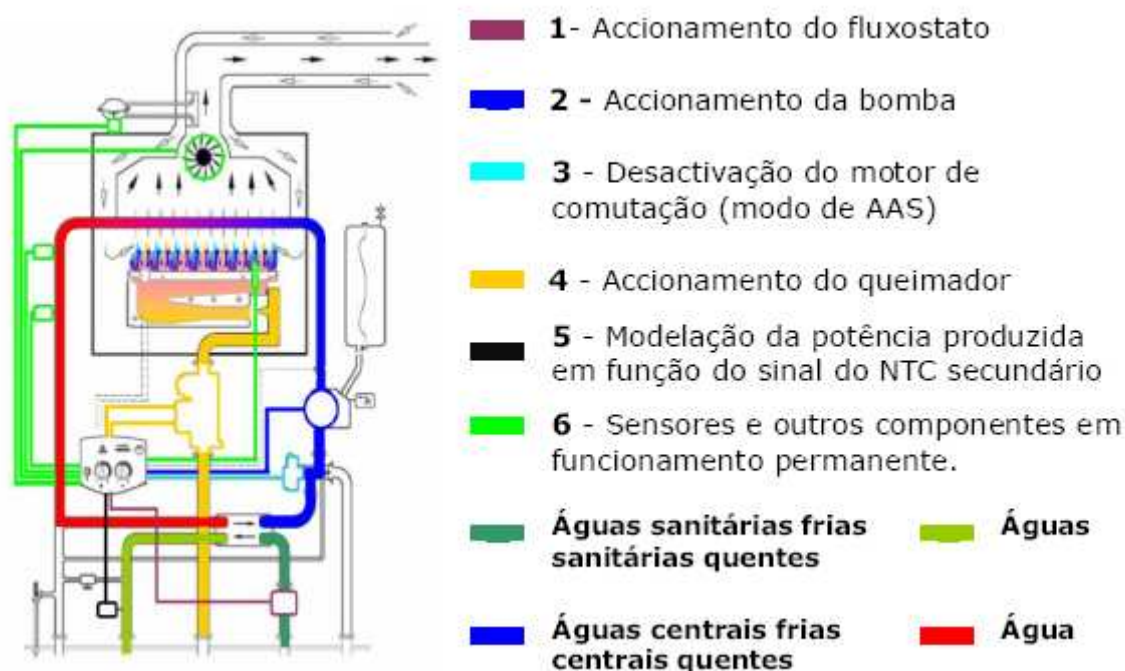


Figura 2-20 - Funcinamento da caldeira com o sistema AE em sistema ZW/AQS

No caso do sistema do bloco hidráulico ser do tipo ZS, (escoamento de águas por acumulação) o funcionamento da caldeira é exactamente o mesmo que o indicado para o sistema ZW, sendo a única diferença o modo de funcionamento do aquecimento de águas sanitárias. Essa diferença reside no facto de ser usado um depósito de acumulação para, armazenar as águas sanitárias e mantê-las a uma temperatura específica, não havendo, neste caso, o recurso a um permutador secundário para aquecer as águas sanitárias (como era o caso do sistema ZW/AQS). É de referir que o fluxostato não existe no bloco hidráulico, porque o sinal de accionamento do modo de AQS é feito através de um termóstato posicionado no acumulador, que acciona o modo de AQS quando a temperatura da água está abaixo do valor pré-definido. Na Figura 2-21 podemos visualizar o funcionamento de uma caldeira GZT-ZW no modo de AQS.

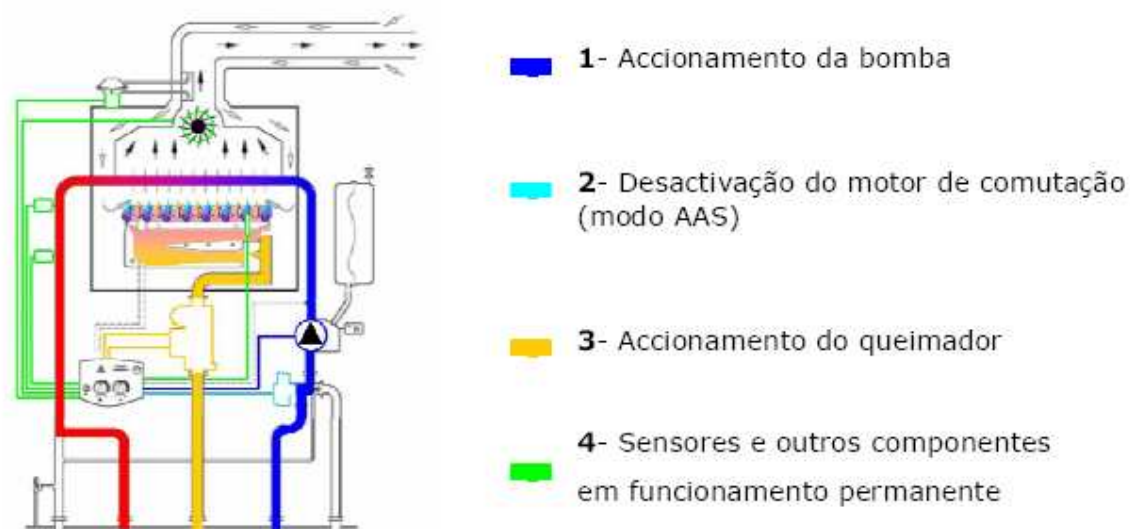


Figura 2-21 - Funcionamento da caldeira em sistema ZW

No caso do sistema de exaustão da caldeira GZT ser do tipo KE (Tabela 2-11), o funcionamento continua a ser o mesmo apresentado anteriormente, apenas a acção do pressostato seria substituída pelo AGÜ (elemento colocado na chaminé do aparelho e que caso a temperatura na vizinhança da chaminé se eleve bloqueia a caldeira), no entanto todos o mecanismos e procedimentos de funcionamento mantêm-se iguais aos apresentados para o sistema AE.

2.4 World 2

O World 2 é um aparelho que surge após a evolução do World 1. Inicialmente com apenas 1 ventilador, o World 1 pretendia atingir o mercado dos Estados Unidos e por isso garantia elevadas potências de saída. As principais vantagens do World 1 eram a elevada estabilidade da temperatura de saída, a modelação de caudal de água, o controlo electrónico, a estanqueidade, a possibilidade de ser instalado no exterior, a interface digital para o utilizador, a selecção da temperatura, e o controlo remoto. O World 1 era assim um esquentador de elevada potência apenas com uma versão disponível 24 l/min - 24 kW, e que garantia uma emissão de NO_x inferior a 57 ppm.

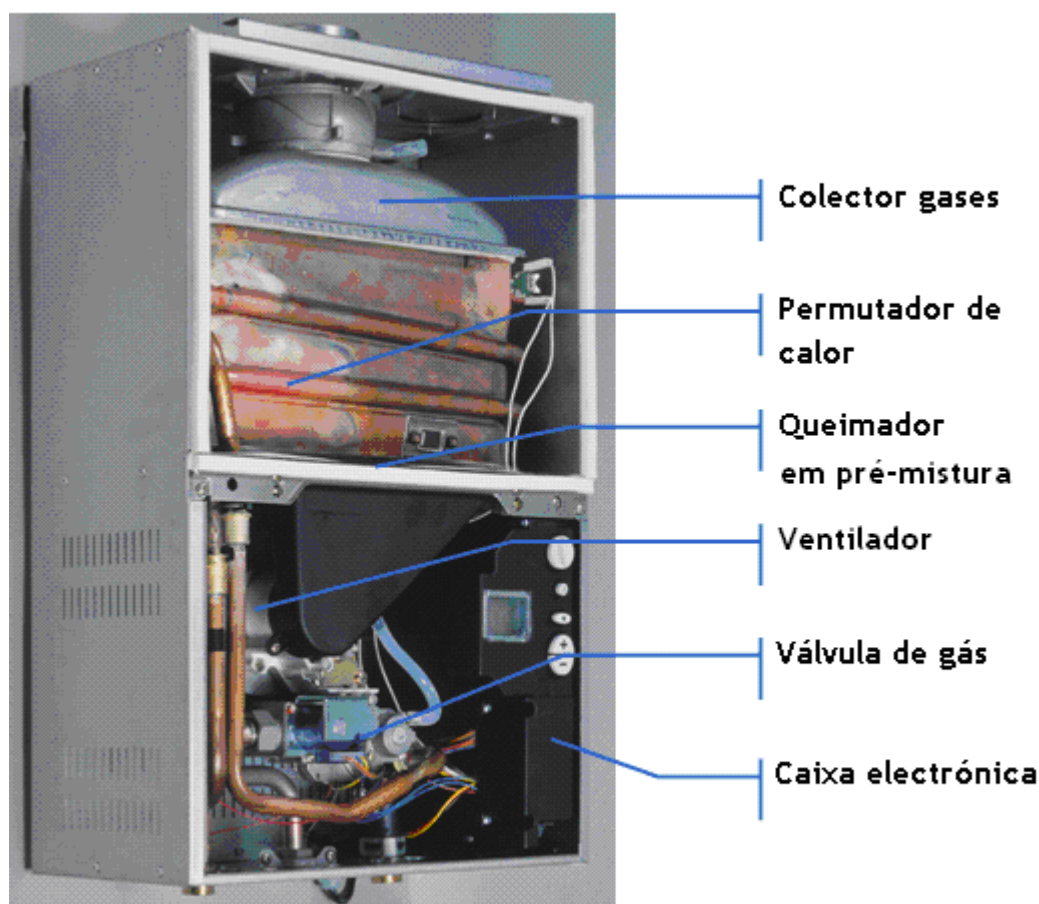


Figura 2-22 - Estrutura do World 1

A Figura 2-24 mostra o aspecto interior do World 1. Apenas em versão não condensação este aparelho garantia uma eficiência no permutador de calor de 88%, com uma temperatura de saída dos produtos de combustão de 250 °C.

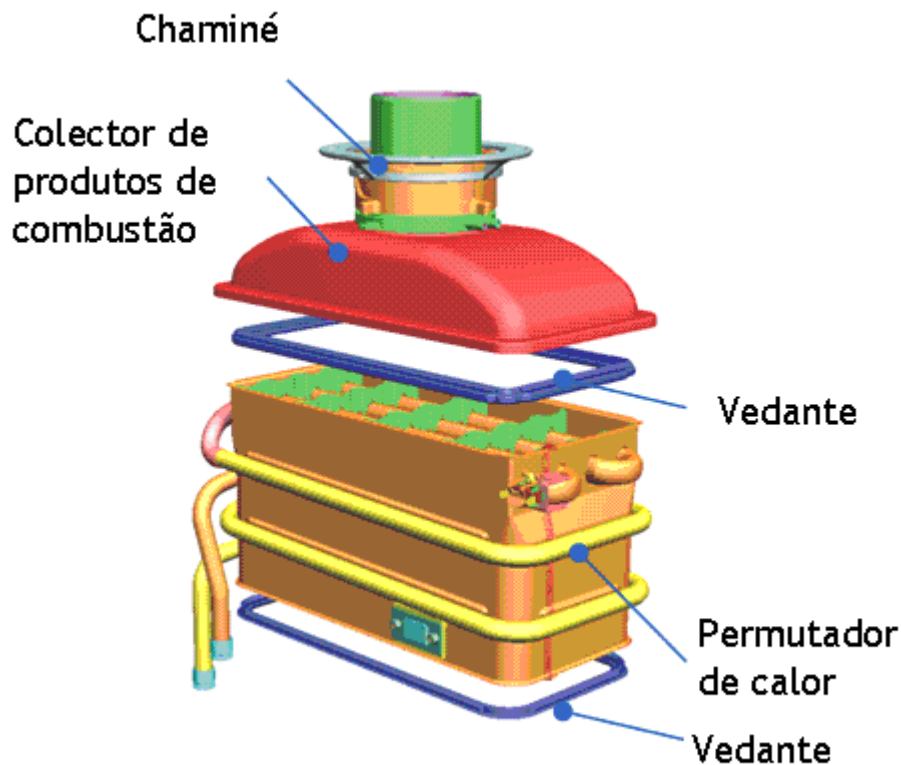


Figura 2-23 - Esquema câmara de combustão e chaminé World 1

O queimador deste aparelho era uma solução bastante diferente dos queimadores habituais de flautas. Utilizando uma pré-mistura ar-gás este queimador utilizava uma manta de fibras-cerâmicas, que ao reduzir a temperatura de chama (1000°C) produzia melhores resultados ao nível da higiene da combustão. Este novo queimador permitia a utilização de dois tipos de gases, gás natural e GPL.

Manta cerâmica - queimador

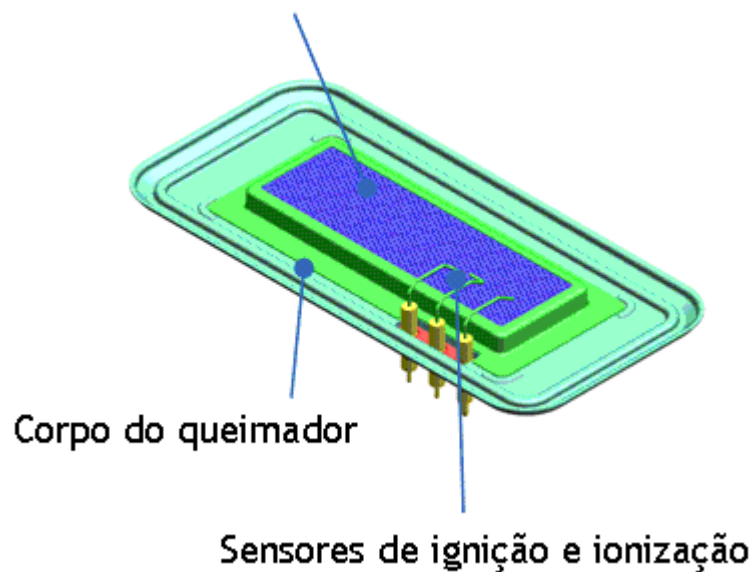


Figura 2-24 - Esquema do queimador de um World 1

A mistura ar-gás era garantida pelo único ventilador existente, obtendo-se assim a mistura ar-gás mais equilibrada para a potência de saída requerida.

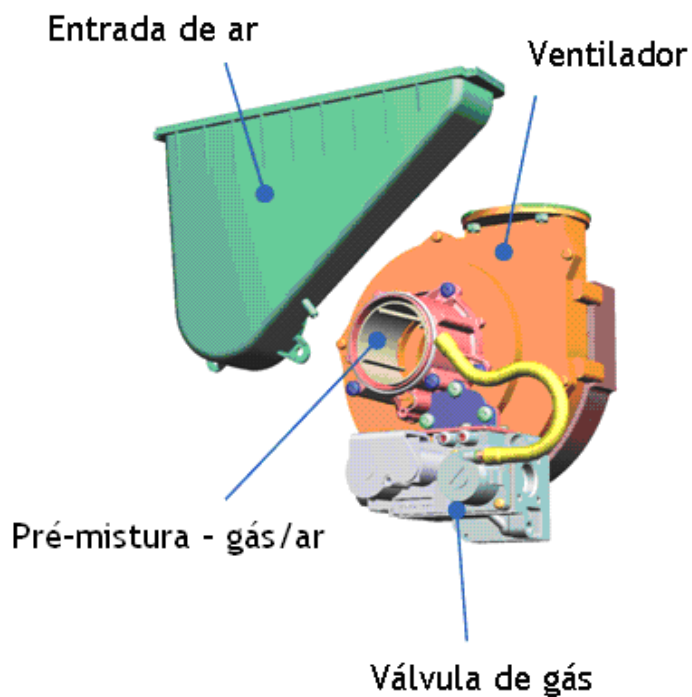


Figura 2-25 - Esquema ventilador World 1

Relativamente ao caudal de água, este era regulado por uma válvula motorizada, de modo a se obter a temperatura desejada à saída e uma boa estabilidade de água quente.

	WTD 24 AME
Potência de output	9-42 kW
Rendimento	88%
Dimensões (c x l x a mm)	400 x 600 x 220
Modulação	electrónica
Estabilidade de temperatura	± 1°C
Tempo de resposta (start-up)	≤ 15 s
Tempo de resposta (alteração do caudal de água)	≤ 5 s
Caudal de água mínimo	3 l/min
Variação da pressão da água	0.2 - 12 bar
Dimensão tubos de gás	concêntrico 80/110 e 60/100 ou duplo 80/80
Tipo de ignição	electrónica
Tipos de gás	LPG, NG
Componentes de segurança	falha de chama limitador de temperatura sensor de sobreaquecimento

Tabela 2-13 - Características técnicas do World 1

Este aparelho podia também ser instalado num sistema com recirculação em que a temperatura máxima da água de saída seria de 60°C.

Apresentado o World 1 podemos passar à introdução do World 2, aparelho que não é mais que uma optimização do World 1.

O World 2 trouxe não só novos componentes como também novas funções e versões, ou seja, novas soluções mecânicas e diferentes potências.

Com uma potência máxima de entrada de 58 kW e mínima de 6 kW (condensação) este novo aparelho permite 9 funções de modelação, instalação em sistemas com recirculação, instalação em cascata, opção de condensação (com até 91% de eficiência), mostrador digital e controlo remoto.



Figura 2-26 - Elementos do mostrador electrónico do World 2

27 Litros - Não condensação



BOSCH
(USA)



Vulcano
BOSCH



JUNKERS

30 Litros - Condensação



Figura 2-27 - Distribuição das marcas dos dois tipos de World 2 - não condensação e condensação

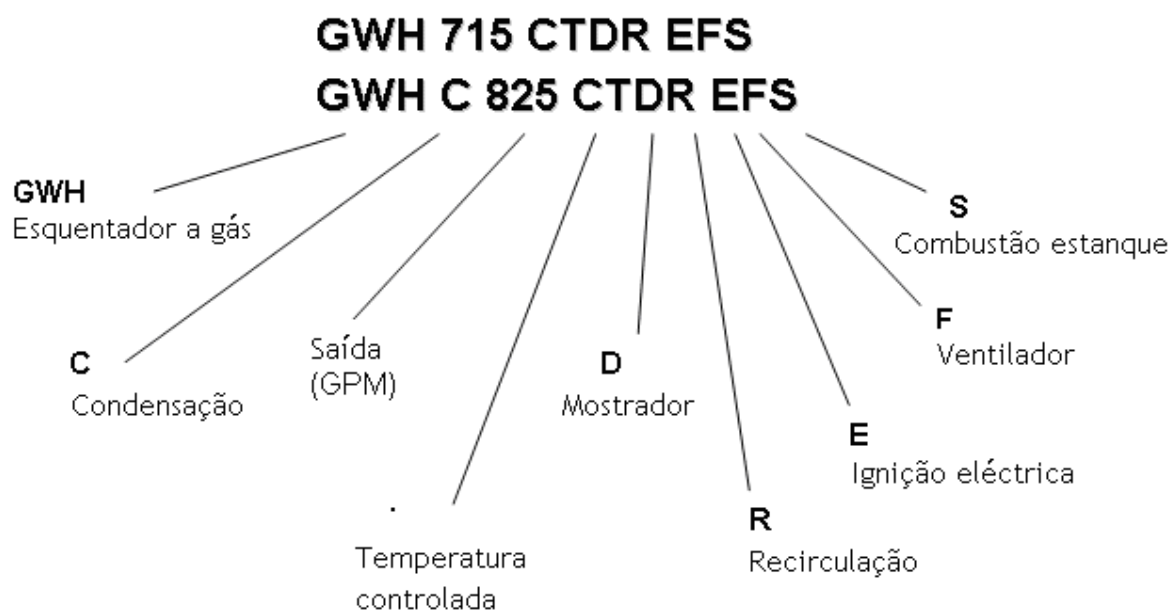


Figura 2-28 - Informação técnica das referências do World 2

	27 L Não Cond.	30 L Cond.
Min.-Máx. potência fornecida	kW	kW
Min.-Max. potência retirada	6-48 kW	6-53 kW%
Intervalo de modelação	1-8	1-9
Rendimento	82%	91%
Factor de energia	> 0,80	> 0,80
Máx. caudal de água	27 l/min	30 l/min
Min. caudal de água	2 l/min	2 l/min
Máx. pressão de água	10 bar	10 bar
Min. pressão de água	1 bar	1 bar
Tipo de ignição de gás	RSF	RSF

Tabela 2-14 - Características técnicas do aparelhos World 2 - não condensação e condensação



Figura 2-29 - Estrutura de um esquentador World 2 condensação

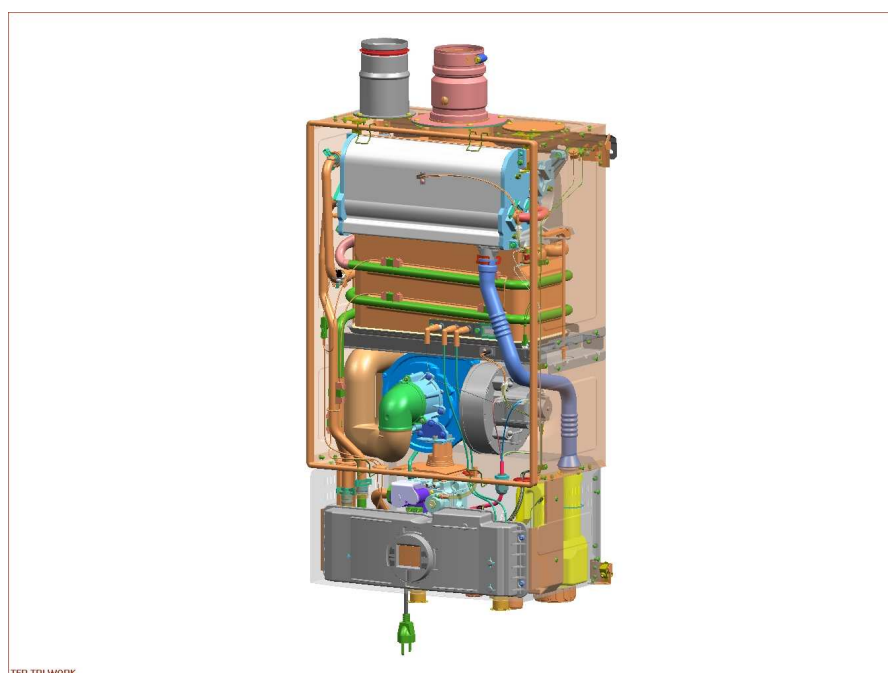


Figura 2-30 - Esquema representativo da estrutura de um esquentador World 2 condensação

Podemos visualizar na Figura 2-29 e 2-30 os principais componentes do World 2. Consegue distinguir-se o condensador, a “saia” envolvida pelo tubo de cobre 18 mm, os dois ventiladores, ar primário e ar secundário.

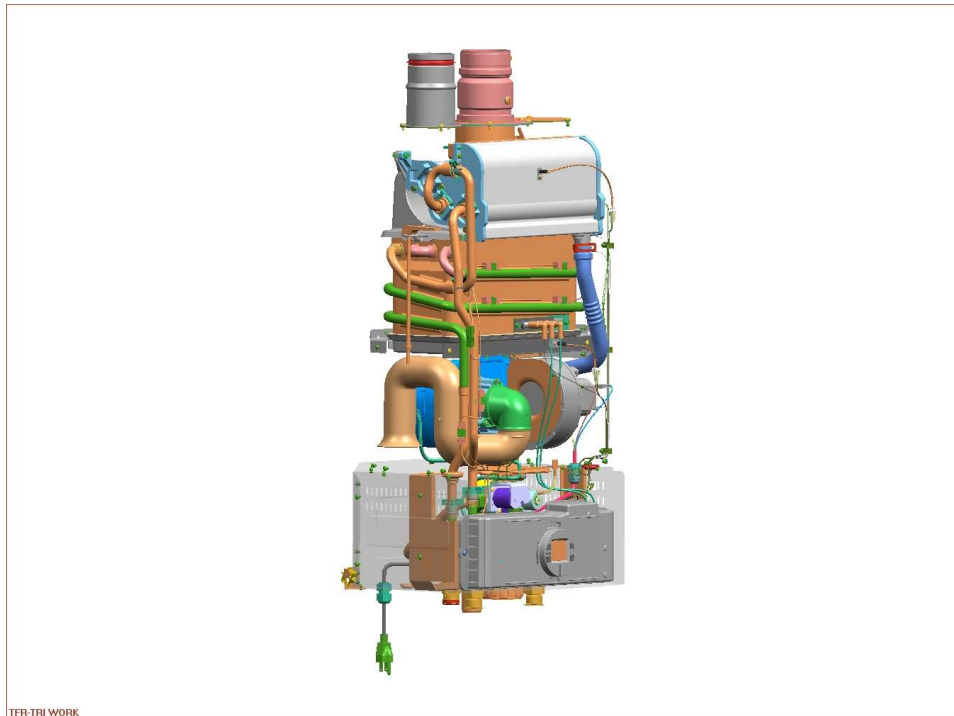


Figura 2-31 - Esquema representativo da estrutura de um esquentador World 2 condensação

Na Figura 2-31 é possível analisar o percurso da água ao longo do aparelho. Depois de entrar no aparelho e passar no caudalímetro e sensor de temperatura que “comandam” a válvula motorizada, a água entra no condensador. Após a segunda passagem no condensador a água entra no permutador que faz o principal incremento na temperatura. Segue depois para a “saia” e finalmente para consumo.

Pode ver-se na Figura 2-32 o aspecto do queimador com pré-mistura de um World 2. Constituído por 2 ventiladores, um para o ar primário e um para o ar secundário, uma placa orifício que faz a pré-mistura do ar e do combustível, e uma zona de chama com a manta em fibras cerâmicas.

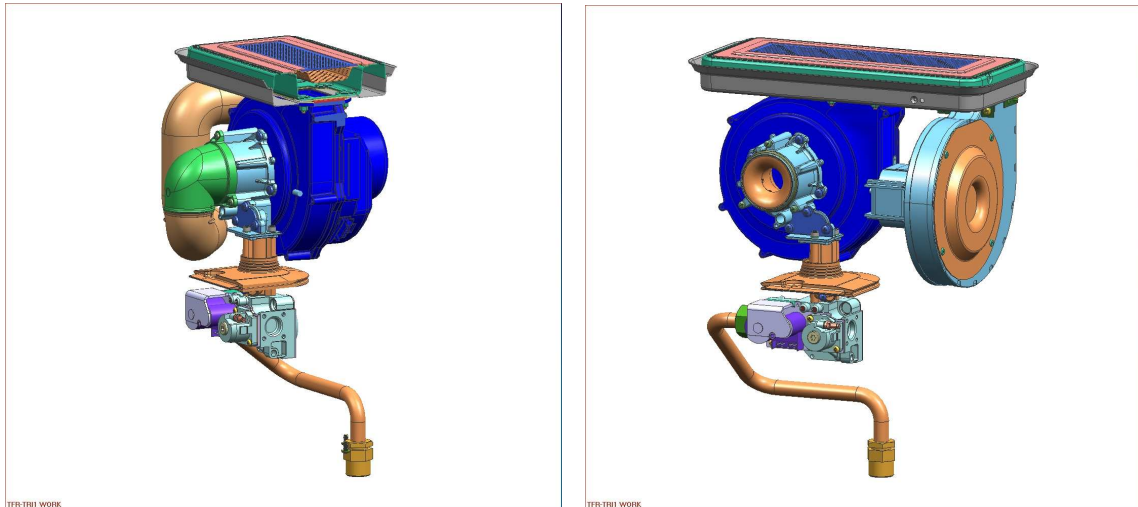


Figura 2-32 - Esquema do queimador, ventilador primário (azul escuro), secundário (azul claro) e válvula de gás

O condensador é outro dos elementos importantes deste esquentador. A água faz o circuito do condensador em duas passagens, através de dois tubos de cobre de 18 mm, que por sua vez são envolvidos por tubos de alumínio com alhetas radiais para maximizar a transferência de calor. Na zona mais baixa deste condensador pode observar-se a purga de água.

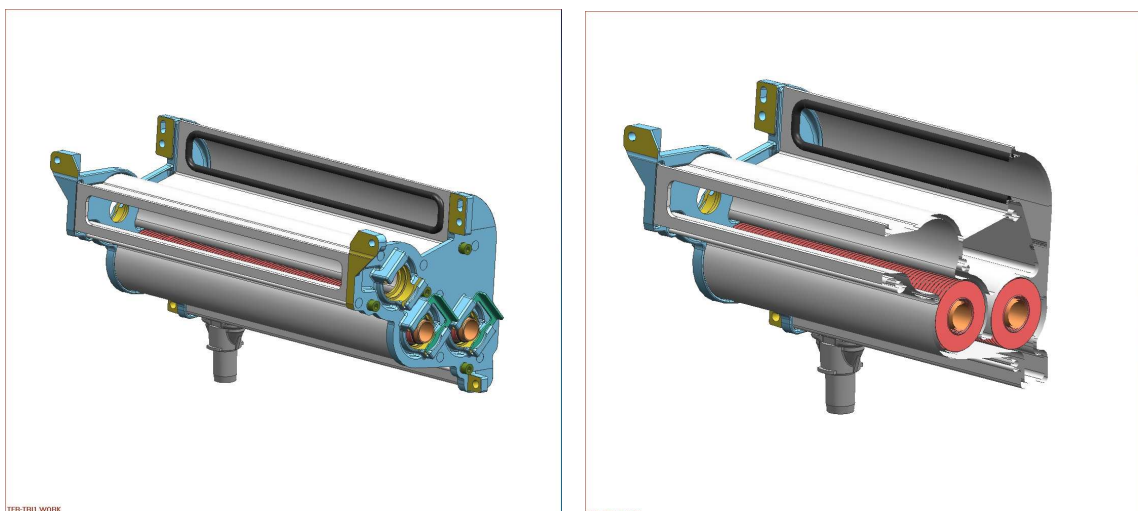


Figura 2-33 - Esquema do condensador de um esquentador World 2 (na figura da direita são visíveis as duas passagens de permutadores)

2.4.1 Diferenças entre queimador World 1 e queimador World 2

As figuras seguintes explicam por si próprias a distribuição do escoamento interno dos produtos de combustão no World 1 (sem ventilador secundário - Figura 2-34) e no World 2 (com ventilador secundário - Figura 2-35).

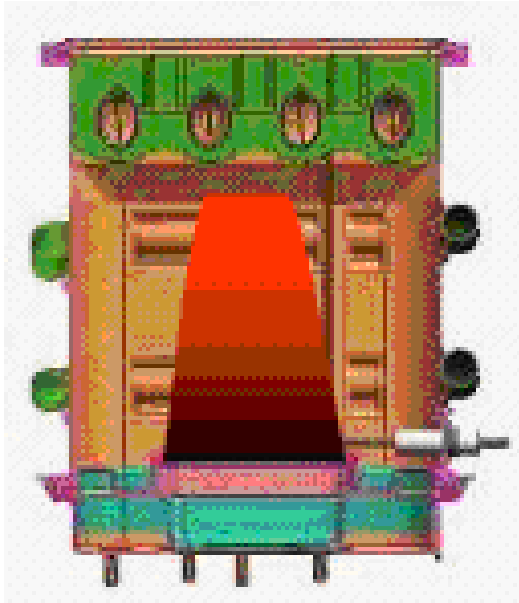


Figura 2- 34 - Queimador sem ar secundário

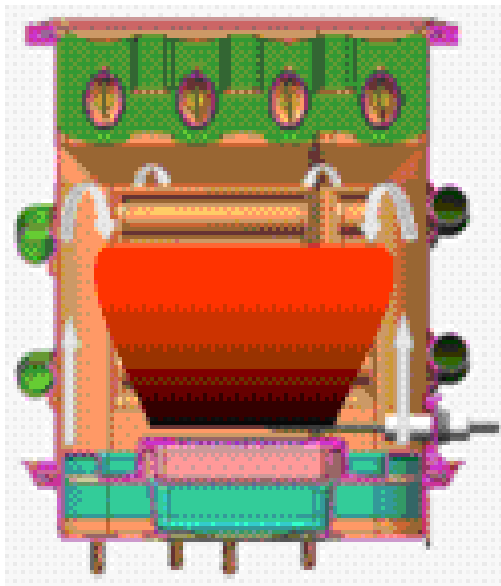


Figura 2-35 - Queimador com ar secundário
- o ar secundário causa baixa pressão junto às paredes da câmara, resultando em que a chama cole à parede. Resultado: distribuição de temperatura mais homogênea dentro da câmara de combustão

3 Apresentação da metodologia utilizada

Um modo de fazer com que o projecto possa ser completado nos prazos previstos é enumerar os passos ou tarefas a efectuar e estimar quais os períodos de tempo necessários para os mesmos. Apesar do esforço feito para cumprir minuciosamente o planeamento inicial, era sempre de esperar que surgissem atrasos nas tarefas delineadas.

Para além da calendarização definida atrás este projecto obedeceu a diversas etapas intermédias, pequenas optimizações e redefinições do protótipo final. Quando se chegou a uma solução “objectivo”, iniciou-se então o planeamento para conclusões finais, ou seja, definição do material e tipos de testes necessários.

Definiram-se assim equipamentos, procedimentos experimentais e planos de testes a efectuar, e que se indicam de seguida.

3.1 Equipamento e procedimento

Os dados seguintes são referentes ao plano de testes enunciado mais adiante neste relatório. Os testes foram feitos com restrições de temperatura de água e potências fornecidas diferentes mas o equipamento e procedimento utilizado manteve-se praticamente constante.

Equipamento utilizado:

- Banca de testes com circuito de arrefecimento para simulação do circuito fechado das águas quentes sanitárias;
- Analisador de gases de combustão N3086 (Testo 330-1; Modelo: 0032 3301) - Figura 3-3;
- Contador de gás húmido L429 (Actaris; Caudal máximo 133 l/min; resolução: 0,25 l) - Figura 3-4;
- Ferramenta diversa;
- Tubo da chaminé com sonda N3086 (Testo 330-1) - Figura3-3.

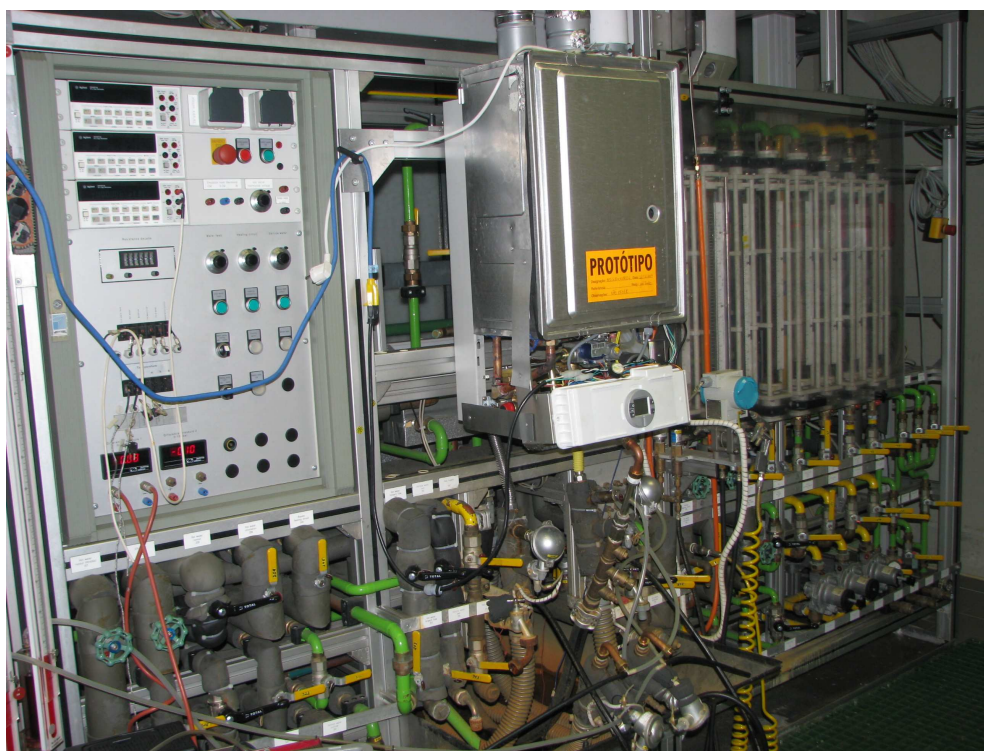


Figura 3-1 - Banca de ensaio normalizada segundo Norma DIN EN 483



Figura 3-2 - Mostradores digitais da banca de ensaio normalizada



Figura 3-3 - Sonda de gases - Testo



Figura 3-4 - Contador de gás húmido - Actaris

Procedimento:

- 1- Montar o aparelho na banca de ensaios;
- 2- Montar o tubo da chaminé com a sonda dos gases de combustão;
- 3- Efectuar o teste com cada um dos gases de referência da categoria a que Pertence o aparelho;
- 4 - Colocar o aparelho em funcionamento na potência nominal e de modo a que a elevação da temperatura seja igual a 20 ± 1 K;
- 5 - A temperatura de entrada da água deve ser inferior a 25 °C e a pressão de 2 bar (relativa);
- 6 - Efectuar o teste com o gás limite de combustão incompleta para a categoria do aparelho, mantendo os restantes parâmetros inalterados.

3.2 Plano de testes

Na Figura 3-5 é possível ficar com uma visão global do trabalho realizado. Ponto de partida, soluções, alterações e protótipo final.

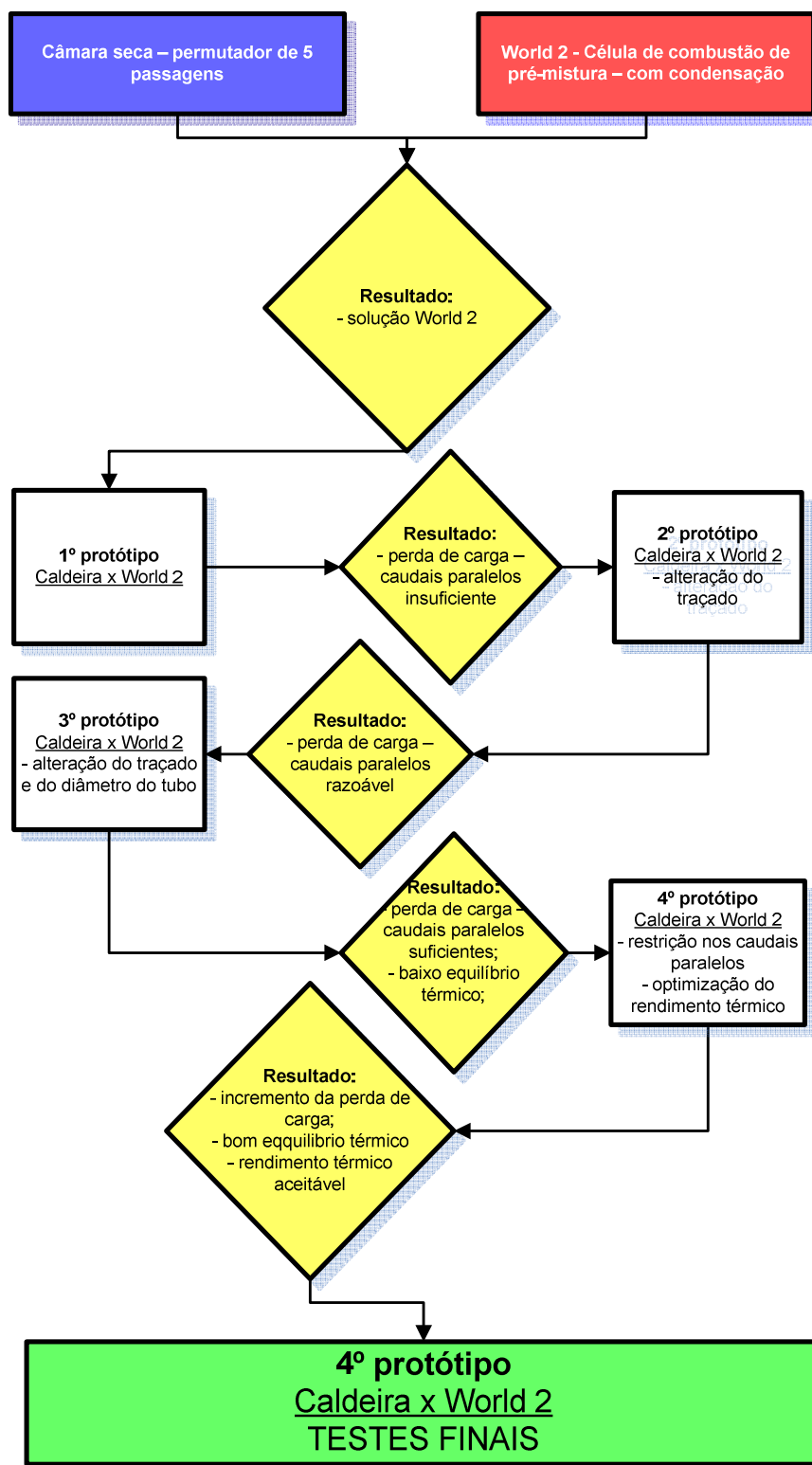


Figura 3-5 - Diagrama representativo da evolução do trabalho realizado

3.2.1 Perda de carga

Os testes à perda de carga foram feitos considerando valores do diferencial de pressão disponíveis na bomba, ou seja, a curva de pressão dá-nos a informação do diferencial de pressão que a bomba ainda consegue vencer.

Fazendo variar o caudal imposto pela banca à caldeira, leu-se a perda de carga diferencial e o caudal. Foram-se retirando assim diversas conclusões referentes não só aos produtos e protótipos completos, como também aos diversos componentes do circuito de água analisados. Foram analisadas as curvas de caudal características, sendo que para os aparelhos completos o valor nominal de caudal a retirar seria o registado com um referencial de pressão de 200 mbar.

Iniciou-se, como atrás se referiu, pelo estudo dos produtos já existentes.

3.2.2 Rendimento térmico

Na determinação do rendimento térmico foi necessário a determinação do consumo nominal, sendo o consumo a quantidade de energia que é fornecida e a potência de saída a quantidade de energia que se consegue retirar desse consumo. O valor que se obteve para o consumo nominal foi obtido através do caudal volumico de gás consumido e do poder calorífico do gás.

O poder calorífico corresponde à quantidade de calor produzida na combustão completa de uma unidade de volume ou massa de gás combustível), considerando que os produtos da combustão cedem ou não o seu calor até ao ponto de condensação do vapor de água que contém.

Assim, foram definidos dois valores:

- Poder calorífico superior (H_s), em que se pressupõe que o calor contido no vapor de água produzido na combustão é aproveitado;
- Poder calorífico inferior (H_i), em que se considera que todo o capor de água se perde com os restantes produtos da combustão, sem aproveitamento do seu calor.

A potência nominal pode ser calculada pelas seguintes fórmulas:

$$\dot{Q}_{real} = \dot{m}_{gás} \times H_s \quad (\text{Equação 3.1})$$

$$\dot{Q}_{segundo.a.norma} = \dot{m}_{gás} \times H_i \quad (\text{Equação 3.2})$$

$$Pot = \dot{m} \times c_p \times \Delta T \quad (\text{Equação 3.3})$$

O rendimento térmico do protótipo foi calculado tendo como base as equações referidas anteriormente.

Na análise do rendimento térmico fizeram-se os seguintes testes:

Teste a carga parcial (como impões a norma):

- Temperatura de entrada da água: 30 °C
- Temperatura: 50 °C
- Caudal de água imposto: 5,1 l/min
- Potência de saída: **7,5 kW**
- parâmetros de gás registados:
 - pressão gás;
 - pressão atmosférica;
 - temperatura do gás;
 - tempo de medição de volume de gás;
 - volume de gás - contador volumétrico.
- parâmetros de água registados:
 - massa de água;
 - tempo de medição da massa de água retirada;
 - temperatura de saída da água;
 - temperatura de entrada da água;
 - pressão da água da rede;
 - caudal de água;
 - subida de temperatura da água;

Teste a carga máxima (como impões a norma):

- Temperatura de entrada da água: 30 °C
- Temperatura: 50 °C
- Caudal de água imposto: 17,2 l/min
- Potência de saída: **24 kW**
- parâmetros de gás registados:
 - pressão gás;
 - pressão atmosférica;
 - temperatura do gás;
 - tempo de medição de volume de gás;
 - volume de gás - contador volumétrico.

- parâmetros de água registados:

- massa de água;
- tempo de medição da massa de água retirada;
- temperatura de saída da água;
- temperatura de entrada da água;
- pressão da água da rede;
- caudal de água;
- subida de temperatura da água;

3.2.3 Temperaturas intermédias

Foram retiradas algumas temperaturas intermédias para se ter uma ideia do balanço térmico no circuito de água, ou seja, se havia equilíbrio de temperaturas e não se estaria a aquecer demasiado a água em algum dos pontos.

Assim para além da temperatura de entrada e saída da água, registaram-se outros valores:

- A temperatura na passagem pelo condensador (2);
- A temperatura à saída da “saia” (3);
- A temperatura à saída do permutador (4).

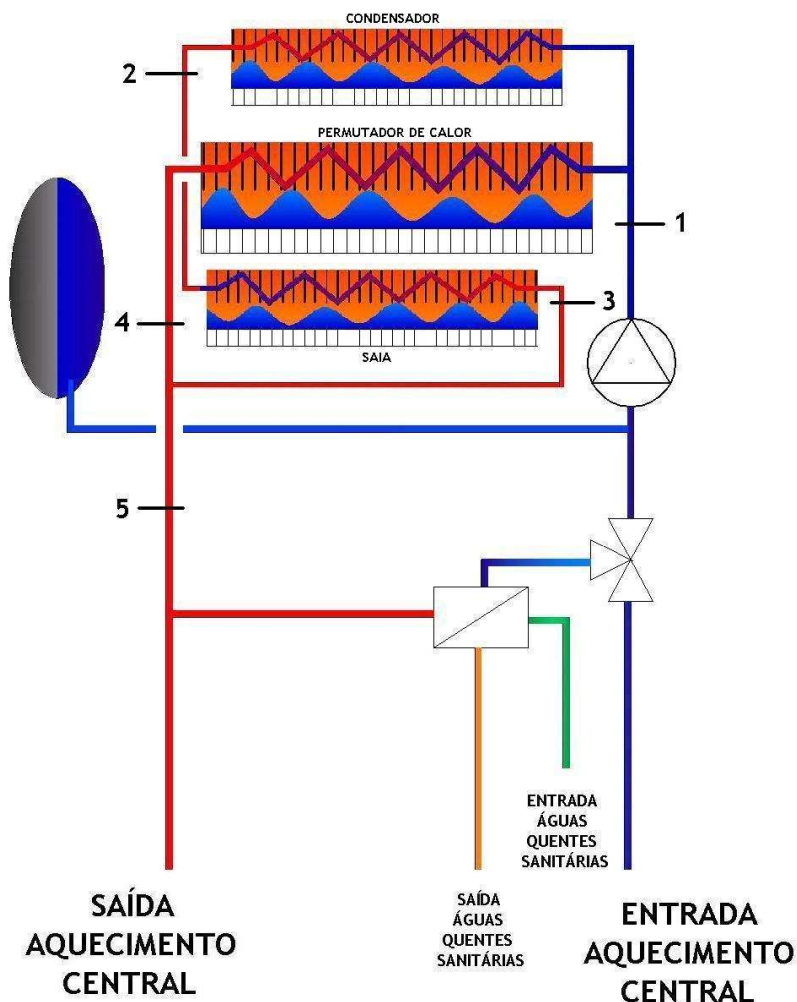


Figura 3-6 - Diagrama representativo do circuito de água no protótipo final

Na análise das temperaturas intermédias fizeram-se os seguintes testes:

Teste a carga máxima (como impõe a norma):

- Temperatura de entrada da água: 20 °C
- Temperatura: 40 °C
- Caudal de água imposto: 17,2 l/min
- Potência de saída **24 kW**
- parâmetros de gás registados:
 - pressão gás;
 - pressão atmosférica;
 - temperatura do gás;
 - tempo de medição de volume de gás;
 - volume de gás - contador volumétrico.
- parâmetros de água registados:
 - massa de água;
 - tempo de medição da massa de água retirada;
 - temperatura de saída da água;
 - temperatura de entrada da água;
 - pressão da água da rede;
 - caudal de água;
 - subida de temperatura da água;
- equilíbrio de temperaturas no circuito (Figura 3-5):
 - temperatura à saída do condensador (2);
 - temperatura à saída da “saia” (3);
 - temperatura à saída do permutador (4).

No teste descrito anteriormente à carga máxima, para além dos valores indicados pela banca, foram registadas as temperaturas intermédias (objectivo deste teste com temperatura de entrada de 20 °C e de saída de 40°C). Estas temperaturas foram medidas com uma sonda de contacto do laboratório do desenvolvimento.

3.2.4 Caudais de água nos circuitos paralelos

Os caudais de água em cada um dos circuitos paralelos foram obtidos através de turbinas-caudalímetros montadas no protótipo. As turbinas foram introduzidas nos dois circuitos não só para se puderm ler dois valores de caudal, mas também para mais tarde aquando da afinação do caudal num dos circuito através da válvula restritora, a perda de carga acrescentada a cada um dos circuitos fosse a mesma.

As turbinas foram montadas no circuito antes do permutador e antes do condensador.

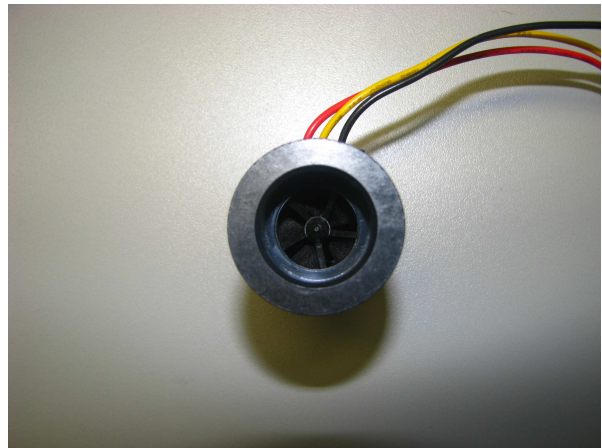


Figura 3-7 - À esquerda podemos ver a posição das turbinas em ambos os circuitos paralelos. À direita uma turbina de medição de caudal

3.2.5 Higiene da combustão

3.2.5.1 CO

O conteúdo de CO isento de ar e água nos produtos de combustão é calculado pela equação:

$$(CO) = (CO)_M \times \frac{(CO_2)_N}{(CO_2)_M} \quad \text{(Equação 3.4)}$$

Onde:

(CO) - é a fracção molar de monóxido de carbono isento de ar e água nos produtos de combustão, em percentagem (%);

$(CO_2)_N$ - é a fracção molar de dióxido de carbono dos produtos de combustão do gás combustível isentos de água e ar, em percentagem (%);

$(CO)_M$ e $(CO_2)_M$ - são as fracções molares medidas nas amostras retiradas durante o teste de combustão, ambas expressão em percentagem (%).

As fracções molares do $(CO_2)_N$ para os gases de referência estão representados na tabela seguinte:

Designação do Gás	G110	G20 G27	G21	G23	G25 G231	G26	G30	G31 G130	G120	G140	G141	G150	G271
$(CO_2)_N$	7,6	11,7	12,2	11,6	11,5	11,9	14,0	13,7	8,35	7,8	7,9	11,8	11,2

Tabela 3-1 - Fracções molares de $(CO_2)_N$ para os gases de referência

No gráfico seguinte pode-se ter ideia da evolução das fracções molares do monóxido e dióxido de carbono com a relação ar/combustível. Assim pode-se verificar que terá que haver um jogo entre o monóxido de carbono e o dióxido, para se chegar a um ponto equilibrado de combustão. Para além do balanço entre estes dois compostos também o equilíbrio entre a potência máxima e mínima é importante, dado que ao se afinar o aparelho para o seu máximo, as emissões no mínimo estão também a ser alteradas.

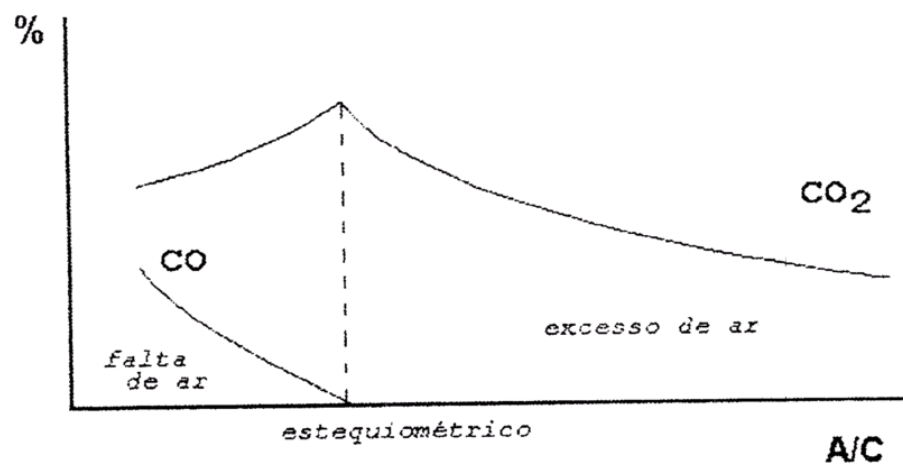


Figura 3-8 - Relação entre fracções molares do CO e CO₂ em função da riqueza da mistura

3.2.5.2 NO_x

No cálculo do valor medido de NO_x utiliza-se uma ponderação diferente. As condições de referência são as seguintes:

Temperatura: 20°C

Humidade relativa: 20 g H₂O/Kg ar seco

Se as condições forem diferentes das enunciadas acima utiliza-se a seguinte equação de correcção:

$$NO_{x,0} = NO_{x,m} + \frac{0,02 NO_{x,m} - 0,34}{1 - 0,02 (h_m - 10)} \cdot (h_m - 10) + 0,85 \cdot (20 - T_m)$$

(Equação 3.5)

Onde:

NO_{x,m} - é a quantidade de NO_x medida a uma temperaturas e humidade definidas, em miligramas por kilowatt-hora (mg/kWh) num intervalo de 50 mg/kWh a 300 mg/kWh;

h_m - é a humidade absoluta do ar durante a medição do NO_x em g/kg ar seco num intervalo de 5 g/kgkWh a 15 g/kg;

T_m - é a temperatura do ar durante a medição de NO_{x,m} em °C num intervalo de 15 °C a 25 °C.

NO_{x,o} - é o valor de NO_x corrigido para condições de referência em miligramas por kilowatt-hora (mg/kWh).

Na análise da higiene da combustão fizeram-se os seguintes testes:

Teste a carga parcial (como impõe a norma):

- Temperatura de entrada da água: 30 °C
 - Temperatura: 50 °C
 - Caudal de água imposto: 5.1 l/min
 - Potência de saída **7,5 kW**
 - parâmetros de gás registados:
 - pressão gás;
 - pressão atmosférica;
 - temperatura do gás;
 - tempo de medição de volume de gás;
 - volume de gás - contador volumétrico.
 - parâmetros de água registados:
 - massa de água;
 - tempo de medição da massa de água retirada;
 - temperatura de saída da água;
 - temperatura de entrada da água;
 - pressão da água da rede;
 - caudal de água;
 - subida de temperatura da água;
 - produtos de combustão:
 - (CO);
 - (CO₂);
 - (O₂);
 - NO;
 - NO_x;
- temperatura dos produtos de combustão.

Teste a carga máxima (como impõe a norma):

- Temperatura de entrada da água: 60 °C
- Temperatura: 80 °C
- Caudal de água imposto: 17,2 l/min
- Potência de saída **24 kW**

- parâmetros de gás registados:

- pressão gás;
- pressão atmosférica;
- temperatura do gás;
- tempo de medição de volume de gás;
- volume de gás - contador volumétrico.

- parâmetros de água registados:

- massa de água;
- tempo de medição da massa de água retirada;
- temperatura de saída da água;
- temperatura de entrada da água;
- pressão da água da rede;
- caudal de água;
- subida de temperatura da água;

- produtos de combustão:

- (CO);
 - (CO₂);
 - (O₂);
 - NO;
 - NO_x;
- temperatura dos produtos de combustão.

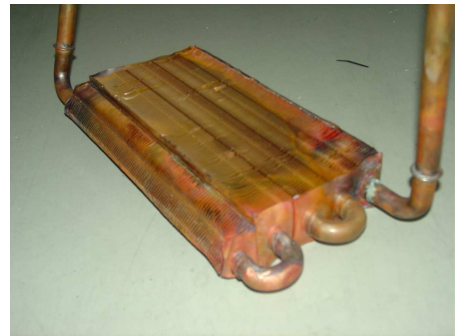
Nos ensaios realizados à higiene da combustão foi feito um relatório completo de cada teste que, por razões de confidencialidade de dados, apenas pode ser consultado por colaboradores do departamento de desenvolvimento. Assim, apresentam-se apenas neste relatório os principais resultados obtidos, sem valores intermédios.

4 Apresentação e análise dos resultados obtidos

4.1 Evolução do protótipo

Nas figuras seguintes apresenta-se a evolução construtiva dos protótipos. Alguns pormenores como a alteração do diâmetro dos tubos não são perceptíveis, mas é facilmente distinguível a alteração no traçado dos circuitos.

- Protótipo 5 passagens no permutador - apenas foram traçadas curvas de caudal



- solução eliminada



- Primeiro protótipo de caudais paralelos -
foram traçadas curvas de caudal -
condensador // permutador + saída

-alteração dos elementos
constituintes de cada
circuito paralelo

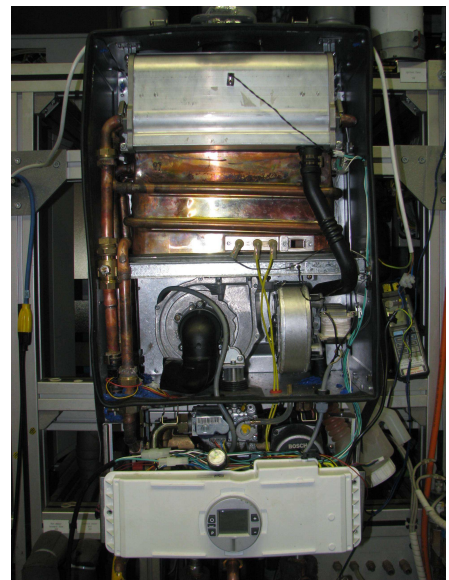


- Segundo protótipo de caudais paralelos - foram traçadas curvas de caudal - condensador + saia // permutador

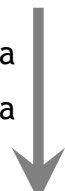
- redução das perdas de carga localizadas e lineares

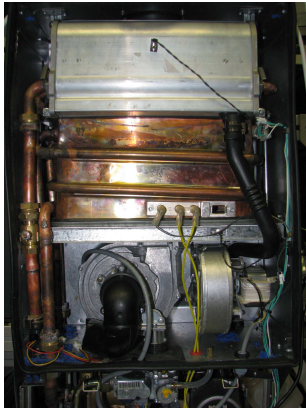


- Terceiro protótipo de caudais paralelos - ensaios relativos a curvas de caudal e rendimento térmico



- introdução da válvula restritiva





- Quarto protótipo de caudais paralelos - ensaios relativos a curvas de caudal e rendimento térmico - restrição de caudal no circuito de água do condensador + saia

4.2 Perda de carga

4.2.1 Ensaio protótipo - permutador de 5 passagens

No estudo das perdas de carga registaram-se como se referiu anteriormente os valores de diferencial de pressão entre a entrada e a saída de água do aparelho. O primeiro elemento estudado foi um permutador de calor com 5 passagens de água.



Diferencial de pressão (mbar)	Caudal de água (l/min)
590	0
550	3,5
500	6,3
450	8,1
400	10
350	11,7
327	12,3
200	15,8

Tabela 4-1 - Valores registados do diferencial de pressão no permutador de 5 passagens

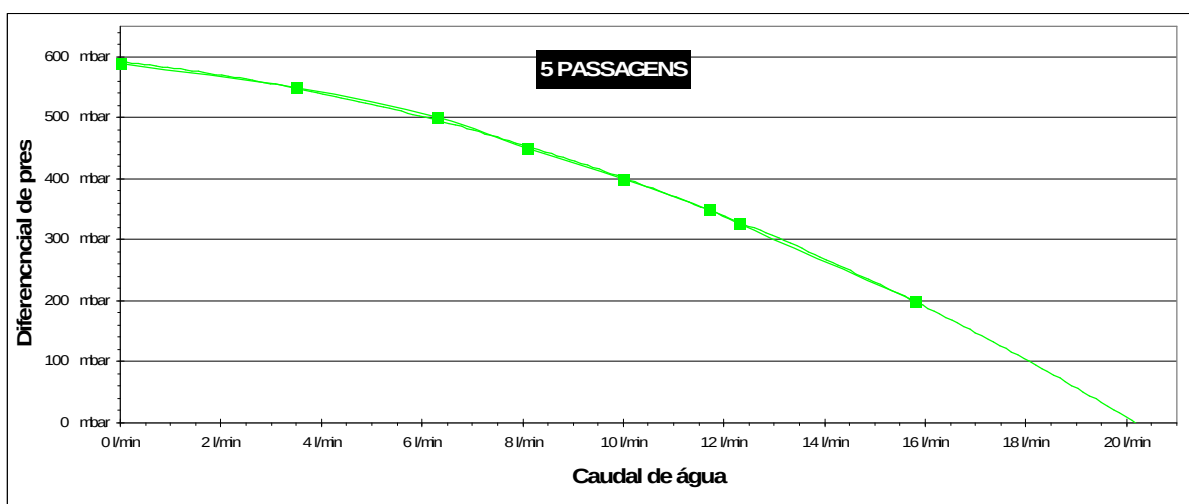


Gráfico 4-1 - Curva de caudal característica relativa à primeira solução considerada - 5 passagens

4.2.2 Ensaio primeiro protótipo - caudais paralelos

O segundo estudo foi a um protótipo já de caudais paralelos, em que num dos circuitos água passa no condensador e no outro passa primeiro no permutador e depois na “saia”.



Diferencial de pressão (mbar)	Caudal de água (l/min)
455	8,8
400	10,5
450	9
484	7,5
512	6,1
540	4,6
565	3
582	1,6
591	0

Tabela 4-2 - Valores registados do diferencial de pressão no primeiro protótipo ensaiado

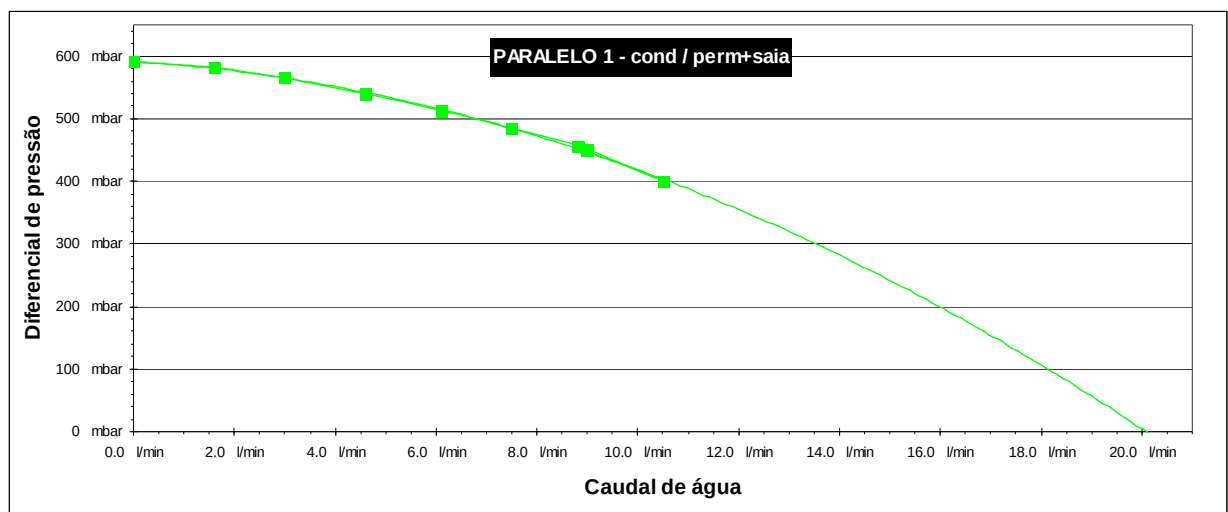


Gráfico 4-2 - Curva de caudal característica relativa ao primeiro protótipo ensaiado

4.2.3 Ensaio quarto protótipo - caudais paralelos - passagem no circuito do condensador e “saia” obstruído

Depois de algumas optimizações, indicadas em anexo, no quarto ensaio foi estudado um protótipo de caudais paralelos, em que num dos circuitos água passa no condensador e depois na “saia” e no outro circuito passa apenas no permutador. Esta solução já integrava no circuito do condensador e “saia” uma válvula restritiva.



Diferencial de pressão (mbar)	Caudal de água (l/min)
601	0
591	1,3
593	2
570	3
560	4
520	5
442	7,1
418	8
370	9
335	10
250	11,8
160	13,6
106	14,5
40	15
-14	17,2

Tabela 4-3 - Valores registados do diferencial de pressão no quarto e último protótipo ensaiado

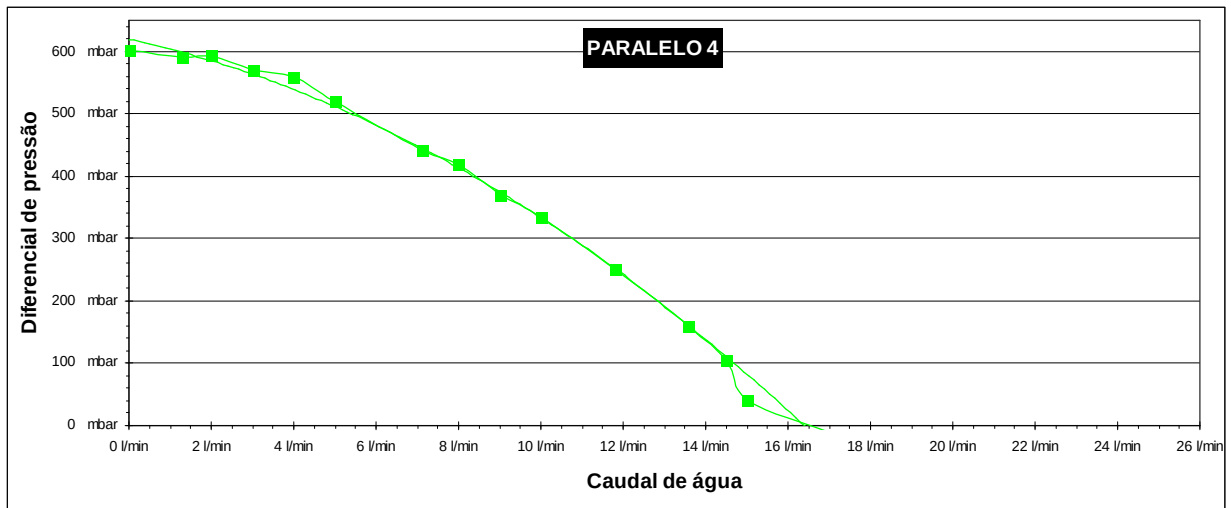


Gráfico 4-3 - Curva de caudal característica relativa ao quarto e último protótipo ensaiado

4.2.4 Conclusão relativa aos testes anteriores

Para além dos testes indicados no ponto - perda de carga, outros testes intermédios foram feitos, como por exemplo, protótipo com pequenas alterações no e a produtos originais, como a caldeira GZT e o esquentador World 2.

Assim com esses dados e com base no Gráfico 4-4 tiraram-se algumas conclusões. Podemos observar diversas curvas de perda de carga: a curva da caldeira GZT a vermelho, a curva do World 2 a amarelo, a curvas do protótipo baseado no permutador de 5 passagens, a do primeiro protótipo de circuito paralelo (condensador // permutador + saia) a azul, a do segundo protótipo (condensador + saia // permutador) a verde, e a curva do protótipo final com um traçado optimizado no que respeita a perdas de carga localizadas e lineares (passagens de tubo 15 mm para 18mm) a laranja.

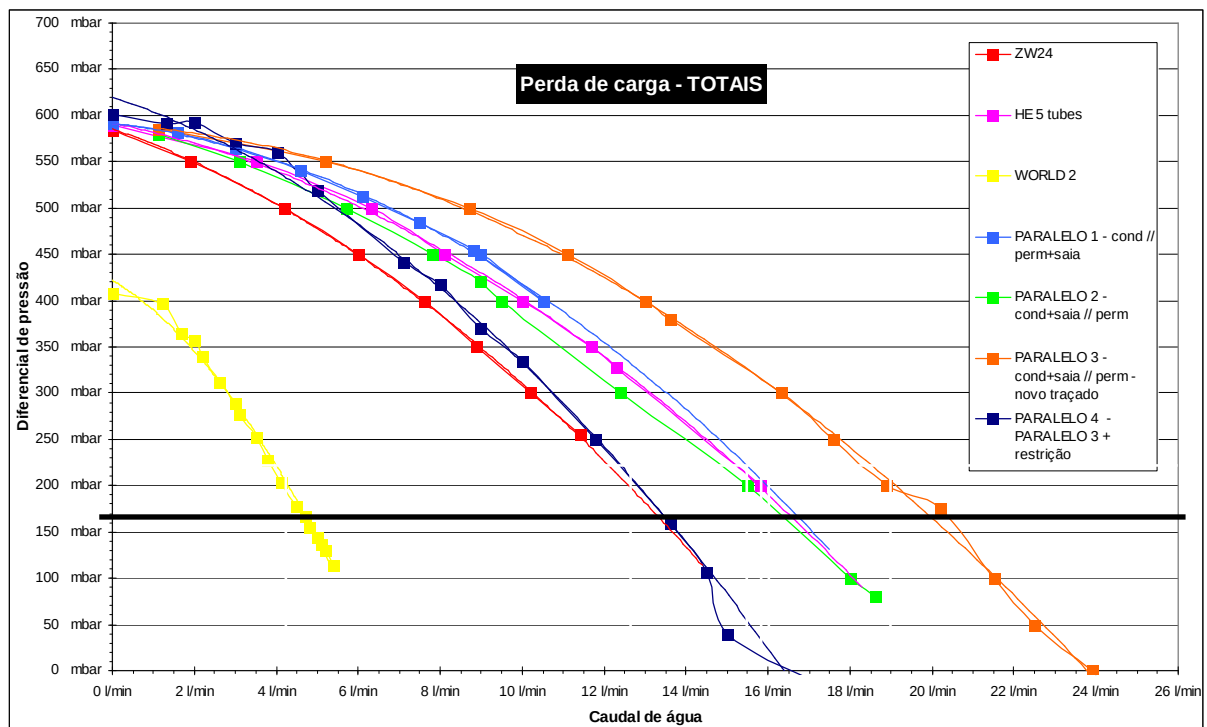


Gráfico 4-4 - Evolução do caudal disponível à saída do aparelho

Analisando os resultados anteriores podemos verificar que houveram evoluções e regressões no decorrer dos trabalhos. Assim, podemos verificar uma significativa evolução tanto no ensaio do permutador de 5 passagens como no primeiro protótipo construído. Apesar de não ter sido suficiente foi possível chegar aos 16,2 l/min. Do Paralelo 1 para o Paralelo 2 evoluiu-se no que respeita ao equilíbrio térmico alterando o traçado e também otimizando algumas perdas de carga localizadas do circuito, prejudicando assim o caudal.

No Paralelo 3, já com alteração do traçado de modo a se evitarem alguns pormenores com mais obstrução, pode-se verificar uma melhoria significativa no caudal disponível pelo protótipo.

Relativamente ao protótipo final, Paralelo 4, a introdução da válvula de restrição para equilíbrio térmico fez com que o trabalho realizado anteriormente recuasse um pouco. Com o objectivo de evitar um elevado diferencial de temperaturas nos dois circuitos paralelos introduziu-se esta restrição que, no futuro, poderia ser evitável, se a regulação do aparelho garantir que estejamos longe da mudança de fase no circuito mais quente. Apesar desta garantia sabemos

que as temperaturas elevadas irão revelar outro problema também bastante importante, que é a fadiga ou durabilidade da câmara.

4.2.5 Ensaios parciais aos componentes do protótipo

Utilizando algum do conhecimento já adquirido pelos colaboradores do desenvolvimento relativo à distribuição da perda de carga, analisou-se um importante componente das caldeiras GZT que é o bloco hidráulico. Assim, seria importante traçar uma curva da potência disponível na bomba e também identificar quais os pesos relativos da entrada do bloco hidráulico, onde se encontra a válvula de 3 vias, e a saída deste.

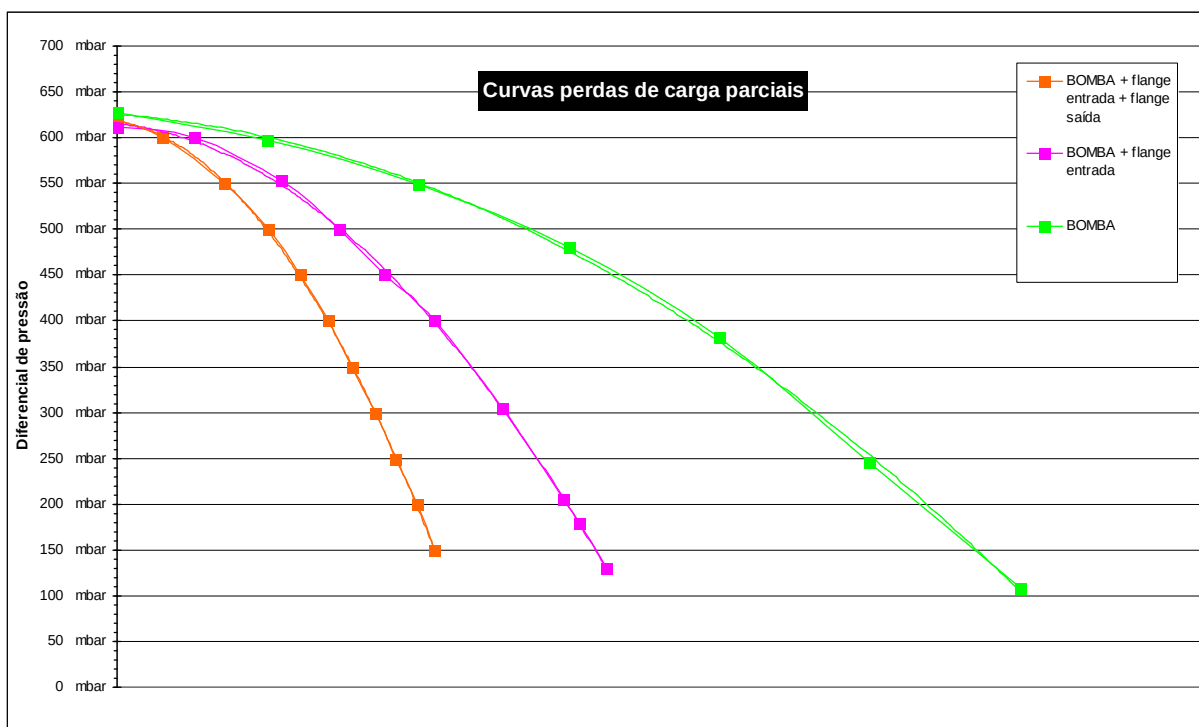


Gráfico 4-5 - Comparação das curvas características de caudal dos componentes do bloco hidráulico

Após a análise dos resultados obtidos, conseguiu-se com alguma facilidade identificar no bloco hidráulico os elementos críticos. Ou seja, verificou-se que ao introduzir o elemento no bloco hidráulico que contém a válvula de 3 vias se reduz significativamente o caudal disponível. Esta válvula tem um eixo de funcionamento vertical, o que acrescenta ao nosso sistema uma significativa perda de carga ao sistema.

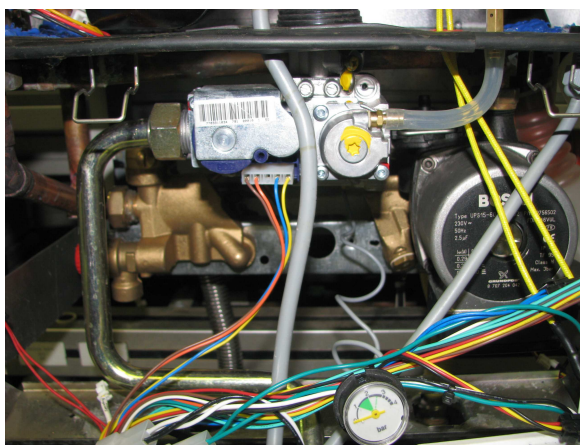


Figura 4.1 - Em cima à esquerda é possível observar a posição do bloco hidráulico e da bomba do protótipo. Em cima à direita um pormenor da bomba e do local onde se encontra a válvula de 3 vias. Em baixo uma vista da válvula de 3 vias, que tem um funcionamento vertical e ao se deslocar provoca a abertura e fecho do circuito de AQS ou AC.

4.2.6 Pesos relativos dos componentes do aparelho

A informação indicada de seguida é de elevada utilidade pois dá uma noção dos pesos percentuais dos diversos componentes dos aparelhos, e indica a zona de actuação para optimização das perdas de carga.

A ideia foi identificar sempre com o mesmo caudal imposto, 17,2 l/min, os componentes críticos.

	17,2 l/min		
	Flange entrada	Flange saída	Permutador
Produto	PERCENTAGENS		
GZT1	23,3%	6,9%	69,8%
WORLD2	5,8%	1,7%	92,5%
5 passagens	32,5%	9,6%	57,8%
PARALELO 1	32,5%	9,6%	57,8%
PARALELO 2	32,1%	9,5%	58,3%
PARALELO 3 condensador+saia // permutador	47,4%	14,0%	38,6%
PARALELO 4 - PARALELO 3 com restrição de caudal	23,7%	7,0%	69,3%

Tabela 4-4 - Comparação dos pesos relativos dos vários componentes da caldeira

Os dados são reveladores do elevado peso que os componentes permutadores de calor têm na perda de carga global dos aparelhos, ou seja, permutador de calor, condensador e “saia”.

4.2.7 Regulação do caudal nos circuitos paralelos - utilização de turbinas-caudalímetros

No ajuste do caudal de água para o circuito do condensador e da saia foi utilizada uma válvula restritiva de caudal. Partindo de uma posição de elevado desequilíbrio, o caudal foi sendo restringido de modo a se ter à saída dos dois circuitos temperaturas o mais próximas possível.

A leitura dos valores parciais de caudal foi feita com recurso a turbinas, já referenciadas mais acima neste relatório, e que davam uma boa aproximação dos valores do caudal em cada circuito.

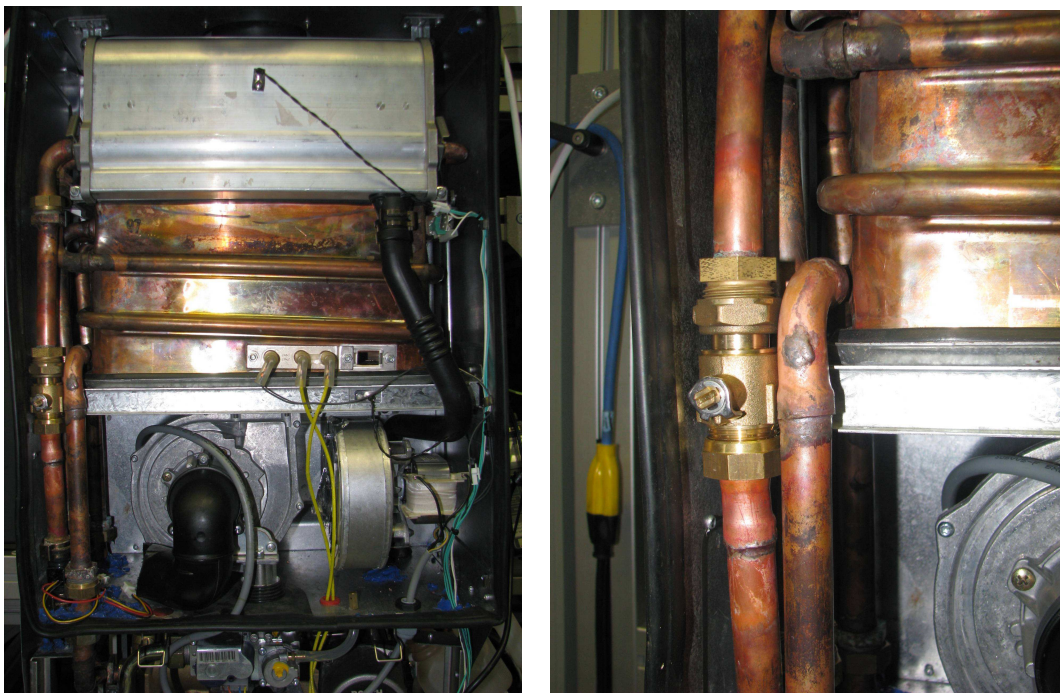


Figura 4.2 - Válvula restritiva utilizada no protótipo no circuito que liga o Y divergente ao condensador

Após afinação do equilíbrio térmico recorrendo à válvula restritiva traçaram-se as curvas características de caudal de cada um dos circuitos (Gráfico 4-6).

Caudal de água (l/min)	Caudal de água cond+saia		Caudal de água permutador		TOTAL
	Hz	l/min	Hz	l/min	
15	40,80	5,9	61,22	8,9	14,8
15,5	41,90	6,1	63,18	9,2	15,2
16	43,09	6,2	65,39	9,5	15,7
16,5	44,29	6,4	66,48	9,6	16,1
17	45,76	6,6	68,50	9,9	16,6
17,5	46,87	6,8	70,30	10,2	17,0
18	47,69	6,9	71,59	10,4	17,3
18,5	48,73	7,1	73,52	10,7	17,7
19	49,76	7,2	75,14	10,9	18,1
19,5	51,18	7,4	75,89	11,0	18,4
20	51,60	7,5	77,43	11,2	18,7

Tabela 4-5 - Dados registados de caudal em ambos os circuitos paralelos que diferentes caudais totais impostos

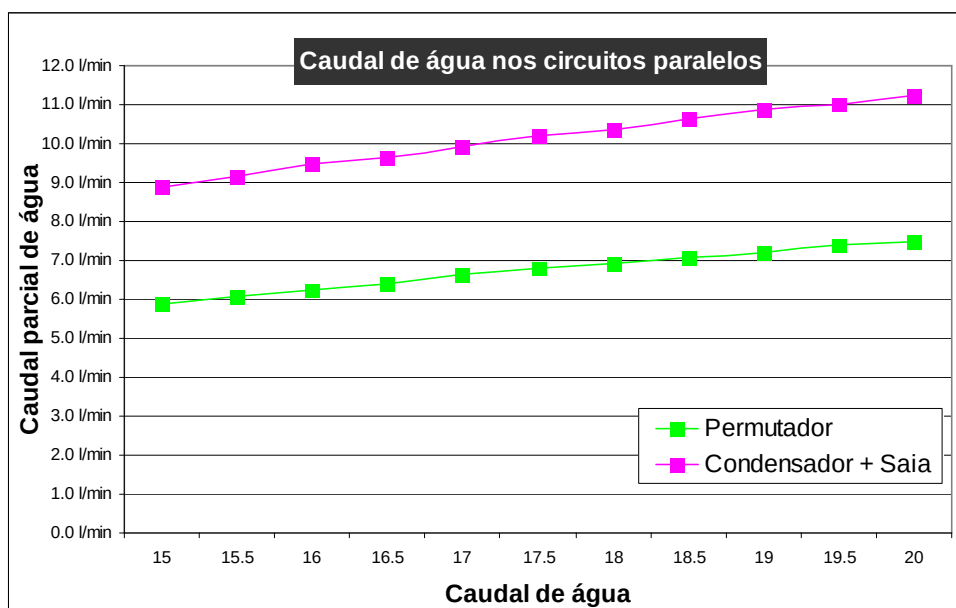


Gráfico 4-6 - Curvas de caudal nos dois circuitos paralelos

4.3 Temperaturas intermédias

O ajuste de caudal foi feito utilizando uma medição instantânea das temperaturas intermédias, ou seja, a temperatura à saída do condensador, à saída da “saia”, e à saída do permutador, num teste realizado com as seguintes condições:

Temperatura de entrada da água: 20 °C

Temperatura de saída da água: 40 °C

Caudal de água total no circuito: 17,2 l/min

Numa primeira análise do protótipo 3 os valores obtidos encontram-se indicados abaixo:

Temperatura de entrada	20	°C
Temperatura de saída	40	°C
Temperatura de saída do condensador	22,5	°C
Temperatura de saída do permutador	51,5	°C
Temperatura de saída da saia	25,5	°C
Temperatura final convergente	40	°C

Tabela 4-6 - Temperaturas intermédias no protótipos antes da regulação de caudais

Após regulação do caudal, ou seja, incremento da perda de carga no circuito do condensador e “saia”, ou valores obtidos foram os seguintes:

Temperatura de entrada	20	°C
Temperatura de saída	40	°C
Temperatura de saída do condensador	26	°C
Temperatura de saída do permutador	43	°C
Temperatura de saída da saia	32	°C
Temperatura final convergente	40	°C

Tabela 4-7 - Temperaturas intermédias no protótipos após regulação de caudais

4.4 Rendimento térmico

Os testes relativos ao rendimento foram realizados seguindo o procedimento de teste indicado no Capítulo 3.

Para verificação dos valores de rendimento do aparelho os teste realizados foram feitos à carga parcial (30 %) e à carga máxima como indica a norma.

Assim para o teste à carga parcial impôs-se segundo a norma uma temperatura de entrada na caldeira de 30 °C, que considerando um incremento de temperatura de 20 °C, significava existiam 50 °C à saída. Para se reduzir a potência de saída até 30 % haveria que reduzir o caudal de água.

Para o teste à carga máxima, a temperatura média da água da caldeira foi de 70 °C.

Caldeira x W2			
Qn (kW)	Pn (kW)	n(%)	%P
26,5	24,5	101,5	100%P
7,9	7,5	94,9%	30%P
	Pn	0.3Pn	
★	≥86,76	≥84,14	
★★	≥89,76	≥87,14	
★★★	≥92,76	≥90,14	
★★★★	≥95,76	≥93,14	

Tabela 4-8 - Resultados obtidos de rendimento (com poder calorífico superior) do protótipo Caldeira x World 2 (carga parcial e máxima)

Onde:

Qn - potência fornecida a aparelho;

Pn - potência retirada do aparelho;

100%P - potência máxima;

30%P - potência mínima;

Tendo já valores de rendimento para o nosso protótipo, pode-se fazer uma breve comparação com os aparelhos: Caldeira 24 kW tradicional e esquentador World 2.

Carga parcial					
Produto	Potência forn. PCI	Potência retirada	Rendimento PCI	Rendimento PCS	Rendimento mínimo PCI
	kW	kW	%	%	objectivo 4 estrelas
Caldeira ZW24-2E AE	9,8	8	91,9	82,7	93,14%
World2	-	-	-	-	
Caldeira x W2	8,1	7,5	94,9	87,7	

Carga máxima					
Produto	Potência fornecida	Potência retirada	Rendimento PCI	Rendimento PCS	Rendimento mínimo PCI
	kW	kW	%	%	objectivo 4 estrelas
Caldeira ZW24-2E AE	26	24	93,7	84,4	95,76%
World2	58,6	52,5	-	92,0	
Caldeira x W2	24,6	24,5	101,5	91,4	

Tabela 4-9 - Resultados obtidos de rendimento do protótipo Caldeira x World 2, Caldeira 24 kW e esquentador World 2 (carga parcial e máxima)

Os resultados dos testes de rendimento obtidos apresentam já uma meta que foi atingida, a da marcação do protótipo com 4 estrelas de rendimento energético, segundo a norma DIN EN 483.

4.5 Higiene da combustão

Nas tabelas 4-10 e 4-11 podem observar-se os valores de emissões do protótipo final, e dos aparelhos base, e os respectivos limites impostos pela norma DIN EN 483.

Produto	CO	Limites de CO	CO	Limites de CO
	%	%	ppm	ppm
Caldeira GZT1 ZW24-2E AE	≤ 0,0400	0,1	≤ 400	1000
World 2	≤ 0,0250	0,1	≤ 250	400
Caldeira x W2	0,0044	0,1	44	1000

Tabela 4-10 - Resultados obtidos de higiene da combustão (monóxido de carbono) do protótipo Caldeira x World 2, Caldeira 24 kW e esquentador World 2 (carga máxima)

Produto	NOx	Limites de NOx	
	mg/kWh	mg/kWh	
Caldeira GZT1 ZW24-2E AE	≤ 100	100	Classe 4
World 2	≤ 97	97	Classe 4
Caldeira x W2	≤ 30	70	Classe 5

Tabela 4-11 - Resultados obtidos de higiene de combustão (óxido de azoto) protótipo Caldeira x World 2, Caldeira 24 kW e esquentador World 2 (carga máxima)

Os valores indicados nas Tabelas 4-10 e 4-11, são apenas valores médios e corrigidos, de várias medições feitas nas mesmas condições, ou seja, são valores muito aproximados dos reais. A norma impõe o cálculo do valor ponderado das emissões de NO_x em diversas percentagens da potência máxima, o que não foi feito.

Pode-se concluir pelos valores obtidos que no que respeita às emissões de produtos de combustão, o último protótipo ensaiado está bastante afastado dos valores limite impostos.

4.6 Comparação com produtos concorrentes

A comparação com os produtos concorrentes é feita através da análise dos valores medidos de rendimento e emissões de CO e NO_x.

Com base na Directiva europeia 92/42/CEE, a caldeira protótipo estaria classificada com o rendimento máximo, representado com as quatro estrelas ★★★★★ e pertencente à melhor classe no que diz respeito à reduzida libertação de gases poluentes NO_x (classe 5 da DIN EN 483).



Figura 4-3 - Marcação relativa ao rendimento energético

Tipo de caldeiras	Intervalos de potência	Rendimento à potência nominal		Rendimento em carga parcial	
	kW	Temperatura média da água da caldeira (em ° C)	Expressão da exigência de rendimento (em %)	Temperatura média da água na caldeira (em ° C)	Expressão da exigência de rendimento (em %)
Caldeiras padrão	4 a 400	70	$\geq 84 + 2 \log P_n$	≥ 50	$\geq 80 + 3 \log P_n$
Caldeiras de baixa temperatura (*)	4 a 400	70	$\geq 87,5 + 1,5 \log P_n$	40	$\geq 87,5 + 1,5 \log P_n$
Caldeiras de gás de condensação	4 a 400	70	$\geq 91 + 1 \log P_n$	30 (**)	$\geq 97 + 1 \log P_n$

(*) Incluindo as caldeiras de condensação que utilizem combustíveis líquidos.

(**) Temperatura da água de alimentação da caldeira.

Tabela 4-12 - Rendimentos úteis mínimos (Directiva 92/42/CEE)

Exigências de rendimento que devem ser respeitadas simultaneamente à potência nominal e à carga parcial de 0,3 P_n

Marcação	Exigência de rendimento à potência nominal P _n e a uma temperatura média da água da caldeira de 70 ° C %	Exigência de rendimento à carga parcial de 0,3 P _n e a uma temperatura média da água da caldeira de ≥ 50 ° C %
★	$\geq 84 + 2 \log P_n$	$\geq 80 + 3 \log P_n$
★★	$\geq 87 + 2 \log P_n$	$\geq 83 + 3 \log P_n$
★★★	$\geq 90 + 2 \log P_n$	$\geq 86 + 3 \log P_n$
★★★★	$\geq 93 + 2 \log P_n$	$\geq 89 + 3 \log P_n$

Tabela 4-13 - Exigências de rendimentos relativas à marcação de estrelas (Directiva 92/42/CEE)

Classe NOx	Concentrações limite NOx mg/kWh
1	260
2	200
3	150
4	100
5	70

Tabela 4-14 - Valores limite de NO_x segundo a norma DIN EN 483

4.6.1 Caldeiras de condensação concorrentes

As principais caldeiras concorrentes do protótipo estudado estão enumeradas de seguida.

Caldeira de condensação Fagor FE-25HE



Componentes principais

- | | |
|---------------------------------|----------------------------------|
| 1_Painel de comandos | 10_Termóstato de fumos |
| 2_Fluxómetro de água sanitária | 11_Purgador automático superior |
| 3_Sonda de aquecimento | 12_Termóstato limite |
| 4_Válvula de gás | 13_Bugias de ignição e ionização |
| 5_Regulador de caudal de A.Q.S. | 14_Transformador de ignição |
| 6_Tomada de pressão de gás | 15_Termóstato de segurança |
| 7_Tomada de pressão de ar | 16_Filtro de aquecimento |
| 8_Ventilador | 17_Purgador automático |
| 9_Permutador principal | |

Principais características:

- potência de aquecimento central: 24,6 kW;
- potência de águas quentes sanitárias: 25 kW;
- rendimento energético: 4 estrelas;
- emissões NO_x: classe 5 (≤ 70 mg/kWh).

Caldeira de condensação Baxi Prime HT 240

Principais características:

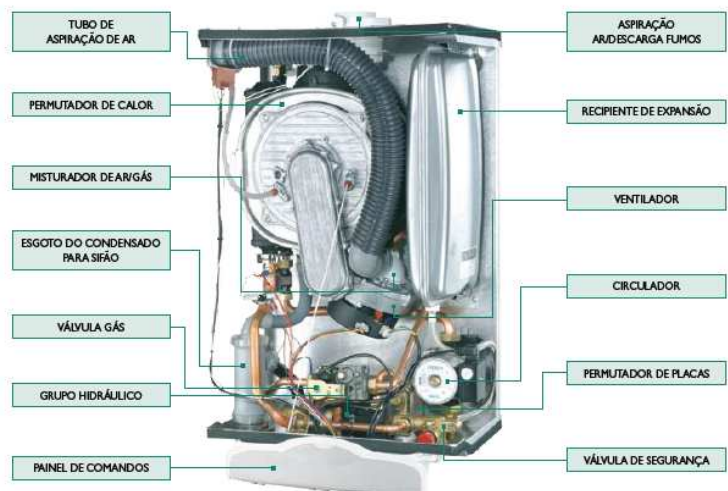
- potência de aquecimento central: 24,6 kW;
- potência de águas quentes sanitárias: 24,7 kW;
- rendimento energético: 4 estrelas;
- emissões NOx: classe 5 (≤ 70 mg/kWh).



Caldeira de condensação Cogie Tahiti KC24

Principais características:

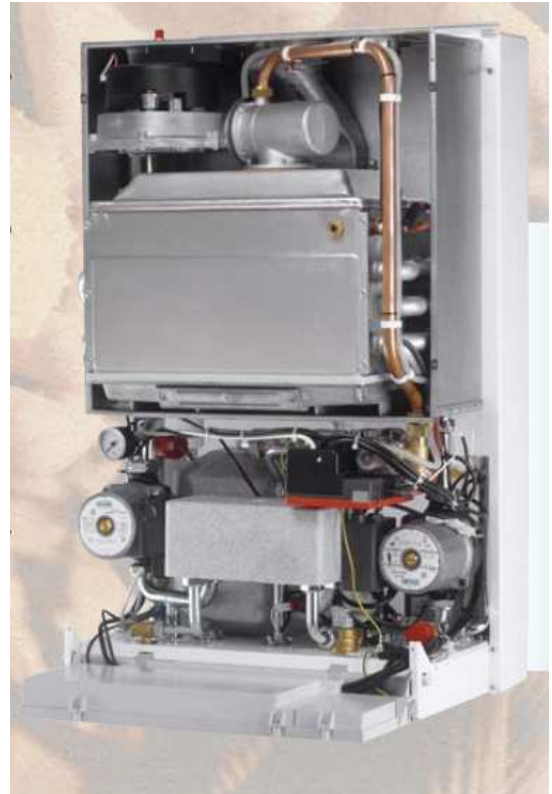
- potência de aquecimento central: 23,7 kW;
- potência de águas quentes sanitárias: 28 kW;
- rendimento energético: 4 estrelas;
- emissões NOx: classe 5 (≤ 70 mg/kWh).



Caldeira de condensação Ferroli ECONCEPT 25C

Principais características:

- potência de aquecimento central: 24,7 kW;
- potência de águas quentes sanitárias: 24,8 kW;
- rendimento energético: 4 estrelas;
- emissões NOx: classe 5 (≤ 70 mg/kWh).



4.6.2 Protótipo e concorrentes

Faz-se agora uma comparação do desempenho do protótipo com alguns dos modelos apresentados anteriormente.

Caldeira actual GZT1 ZW24-2E AE

ZW24-2E AE - caldeira actual			
Qn (kW)	Pn (kW)	n(%)	%P
26	24	93,7%	100%P
9,8	8	91,9%	42%P
	Pn	0.3Pn	
★	≥86,76	≥84,14	
★★	≥89,76	≥87,14	
★★★	≥92,76	≥90,14	
★★★★	≥95,76	≥93,14	

Tabela 4-15 - Resultados obtidos do rendimento (com poder calorífico inferior) da Caldeira de 24 kW já existente (carga parcial e máxima)

Caldeira x World 2

Caldeira x W2			
Qn (kW)	Pn (kW)	n(%)	%P
26,5	24,5	101,5	100%P
7,9	7,5	94,9%	30%P
	Pn	0.3Pn	
★	≥86,76	≥84,14	
★★	≥89,76	≥87,14	
★★★	≥92,76	≥90,14	
★★★★	≥95,76	≥93,14	

Tabela 4-16 - Resultados obtidos do rendimento (com poder calorífico inferior) do protótipo Caldeira x World 2 (carga parcial e máxima)

Onde:

Q_n - potência fornecida a aparelho;

P_n - potência retirada do aparelho;

100%P - potência máxima;

30%P - potência mínima;

Comparação com os rendimentos das caldeiras concorrentes

Pode-se verificar pela tabela 4-17 que para poderes caloríficos inferiores todas apresentam um rendimento superior a 100%. Assim apesar do protótipo apresentar o rendimento mais baixo dos indicados garante uma elevada classificação energética.

Produtos concorrentes - condensação	Rendimento Hi	Rendimento Hs
	%	%
Caldeira x W2	101,5	91,4
Fagor FE-25HE	106,9	96,3
Baxi Prime HT 240	107,5	97,6
Cogie Tahiti KC24	109,1	98,1
Ferroli Econcept 25C	109,3	98,1

Tabela 4-17 - Resultados obtidos do rendimento (Hi e Hs) do protótipo e dos produtos concorrentes

4.7 Incertezas na medição

No que respeita às incertezas de medição do estudo efectuado, todos os aparelhos utilizados, respeitavam a norma DIN EN 483. Não só a banca de ensaio como também os analisadores de gás e medidores de temperatura garantem as tolerâncias indicadas na Figura 4-10.

1)	Atmospheric pressure	± 5 mbar;
2)	Combustion chamber and test flue pressure	± 5 % full scale or 0,05 mbar;
3)	Gas pressure	± 2 % full scale;
4)	Water-side pressure loss	± 5 %;
5)	Water rate	± 1 %;
6)	Gas rate	± 1 %;
7)	Air rate	± 2 %;
8)	Time	
	- up to 1 h	$\pm 0,2$ s
	- beyond 1 h	$\pm 0,1$ %;
9)	Auxiliary electrical energy	± 2 %;
10)	Temperatures:	
	- Ambient	± 1 K;
	- Water	± 2 K;
	- Combustion products	± 5 K;
	- Gas	$\pm 0,5$ K;
	- Surface	± 5 K;
11)	CO, CO ₂ and O ₂ for the calculation of flue losses	± 6 % full scale;
	CO ₂ in extracted air (test 7.2.2.3)	$\pm 0,01$ %;
12)	Gas calorific value	± 1 %;
13)	Gas density	$\pm 0,5$ %;
14)	Mass	$\pm 0,05$ %;
15)	Torque	± 10 %;
16)	Force	± 10 %;

Figura 4.4 - Tolerâncias máximas nos erros de leitura segundo a norma DIN EN 483

5 Principais conclusões e trabalhos futuros

O projecto descrito anteriormente foi apenas um ante-projecto daquilo que normalmente acontece num projecto completo de um novo aparelho. Apesar do tempo de estágio para um projecto destes ser curto, conseguiu-se em pouco tempo uma boa evolução do novo aparelho.

Depois de uma fase inicial de estágio menos intensa, iniciaram-se no final de Novembro início de Dezembro de 2007, os testes finais já com um protótipo alterado e equipado de modo a retirarmos a máxima informação deste. Isto significava que para além do relatório completo que nos fornece a banca, outros dados como o caudal que passa em cada um dos circuitos paralelos e as temperaturas dentro dos tubos de cobre em diversas partes do circuito, seriam importantes para se tirarem conclusões e se poder fazer um plano de trabalhos futuros.

Assim sendo os testes efectuados permitiram apenas tirar primeiras conclusões, já bastante aproximadas de uma amostra final.

Os primeiros resultados obtidos foram relativos ao caudal de água. As conclusões retiradas deram-nos uma ideia dos pesos de cada componente na perda de carga final, e assim por onde se poderia evoluir nas alterações futuras. Chegou-se assim a dois componentes críticos, o permutador de calor da câmara e a válvula de 3 vias do bloco hidráulico:

- Permutador de calor - circuitos paralelos permitiu ultrapassar o objectivo pretendido;
- apesar de ter um peso significativo na perda de carga total, a válvula de três vias não foi estudada, pois não se enquadrava no âmbito deste projecto de estágio.

Relativamente aos permutadores de calor (permutador principal de cobre, condensador e saia) o incremento da perda de carga deveu-se principalmente a perdas de carga locais e toda a tubagem linear de água, que foi sendo alterada de modo a eliminarmos o tubo de 15 mm e passarmos a ter o máximo de tubo de cobre com 18 mm de diâmetro.

A **perda de carga** foi um tema que não ficou encerrado e será no futuro um ponto fundamental a otimizar para o bom funcionamento do sistema. Algumas das soluções para trabalhos futuros podem assim ser indicadas:

- mais uma passagem no condensador (mais potência num dos ramos do circuito);
- redução das dimensões da câmara de cobre e do condensador;
- flange de entrada do bloco hidráulico com menor perda de carga;
- não utilização da válvula de restrição de caudal, encontrando uma forma de controlo da transferência de calor conjugando o diferencial de temperaturas nos circuitos paralelos.

O **rendimento** do aparelho é um ponto que apesar de ter no final deste estudo um saldo positivo, terá que ser ainda bastante trabalhado. Por exemplo, na análise em carga parcial, o valor obtido de rendimento do nosso aparelho afasta-se um pouco dos valores dos produtos concorrentes. Isto porque a regulação dos ventiladores foi apenas feita com a placa electrónica já existente, estando assim o resultado influenciado pela modelação da placa electrónica. Assim, se no futuro se quiser evoluir neste ponto as velocidades de ambos os ventiladores, ar primário e ar secundário, terão que ser reajustadas, para valores inferiores de modo a se ter no interior da câmara de combustão velocidades menos elevadas e maior taxa de transferência de calor.

Esta nova optimização está directamente ligada a outro ponto muito importante, a **higiene da combustão**. Devido ao afastamento no sentido positivo dos resultados aos valores limite impostos, haverá no futuro mais margem para se evoluir sem preocupações com a higiene da combustão dado que o conjunto permutador/queimador funciona folgado.

O estudo futuro da optimização deste protótipo passará muito provavelmente também, pela redução do atravancamento do protótipo. Este era composto por uma câmara de um World 2 condensação que habitualmente funciona numa gama de potências de 7-52 kW. Como o produto final terá em principio 24 e/ou 30 kW, as dimensões actuais são excessivas. Assim o ajuste do aparelho às potências

necessárias terá uma influência também positiva nas matérias estudadas neste trabalho: perda de carga, rendimento térmico e higiene da combustão.

Em suma os objectivos deste estágio foram atingidos, ou seja, perda de carga acima do objectivo imposto, potência e higiene de combustão do aparelho estão abaixo dos máximos exigidos nas normas e os rendimentos asseguram a classificação energética máxima.

O projecto caldeira pré-mistura encontra-se em fase de análise pois os novos componentes estão a ser definidos. Sendo que o mais importante neste projecto foi o conceito utilizado, ou seja, célula de pré-mistura e condensação, tendo os objectivos inicialmente definidos sido atingidos, fica agora a cargo da equipa de projecto na BOSCH a optimização destes parâmetros para posterior industrialização.

Para a implementação deste projecto será necessário definir novos componentes utilizando o mesmo conceito mas com dimensões mais reduzidas de forma a viabilizar economicamente o projecto. Há potencialidade de redução de dimensões, incrementando a potência transferida por área. Apesar de demorado todo o processo antes de entrada em produção é muito importante, pois elimina muitos dos riscos e falhas dos aparelhos em fases mais avançadas do processo formal.

Do ponto de vista pessoal, a participação no projecto caldeira pré-mistura permitiu apreender novos conceitos técnicos, aplicar os adquiridos, e interagir com tecnologias laboratoriais avançadas. O contacto com o mundo laboral e as sinergias inter profissionais, inerentes a uma organização empresarial, representam uma das mais valias adquiridas ao longo do estágio. Em suma, o projecto acrescentou valor, não só a nível profissional, mas também dentro do plano pessoal.

6 Referências e bibliografia

6.1 Livros

- CATIM, “Manual do mecânico de aparelhos de gás”, 2003;
- ROCA, “El gas - aparatos y aplicaciones”, 1990;
- VULCANO, “Manual para mecânicos e instaladores de esquentadores”, 1998;
- DEWITT, D., INCROPERA, F., “Fundamentals of heat and mass transfer”, 4ª Edição, John Wiley & Sons, 1996

6.2 Normas

- DIN EN 483: 2000 “Gas-fired central heating boilers - Tipe C boilers of nominal input not exceeding 70kW ”
- NP EN 297:1998 “Caldeiras de aquecimento central que utilizam combustíveis gasosos”
- Caldeiras tipo B₁₁ e B_{11BS} equipadas de queimadores atmosféricos em que o debito calorífico nominal é inferior ou igual a 70kW”
- NP EN 297:1994 / prA6 “Caldeiras de aquecimento central que utilizam combustíveis gasosos - Caldeiras tipo B₁₁ e B_{11BS} equipadas de queimadores atmosféricos em que o debito calorífico nominal é inferior ou igual a 70kW”

7 ANEXOS

ANEXO A - Ensaios complementares

Perda de carga

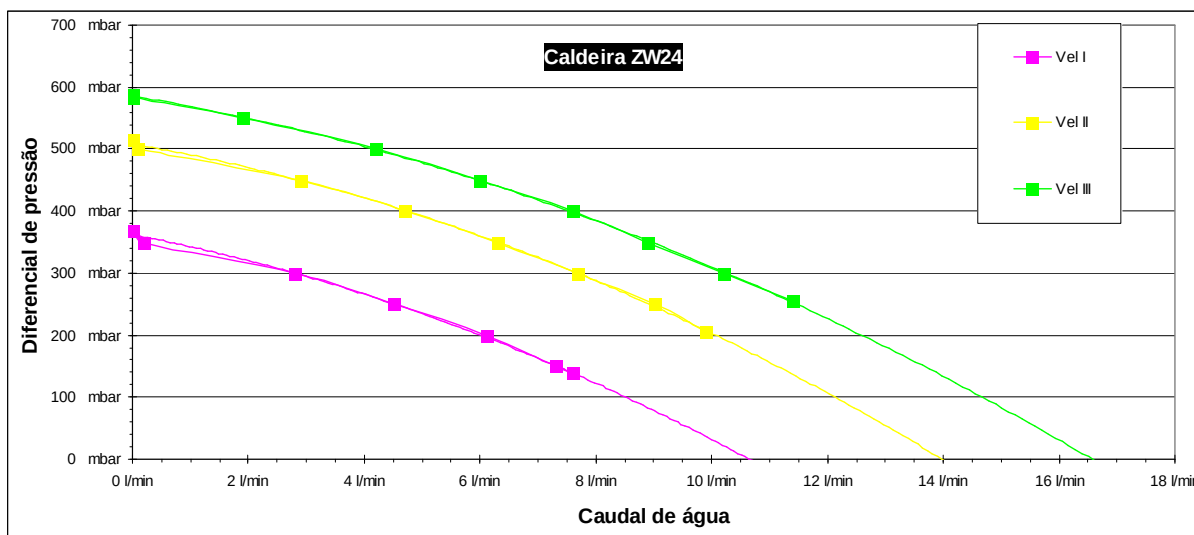


Gráfico A-1 - Curva de caudal da caldeira 24 kW actual nas diversas velocidades disponíveis pela bomba

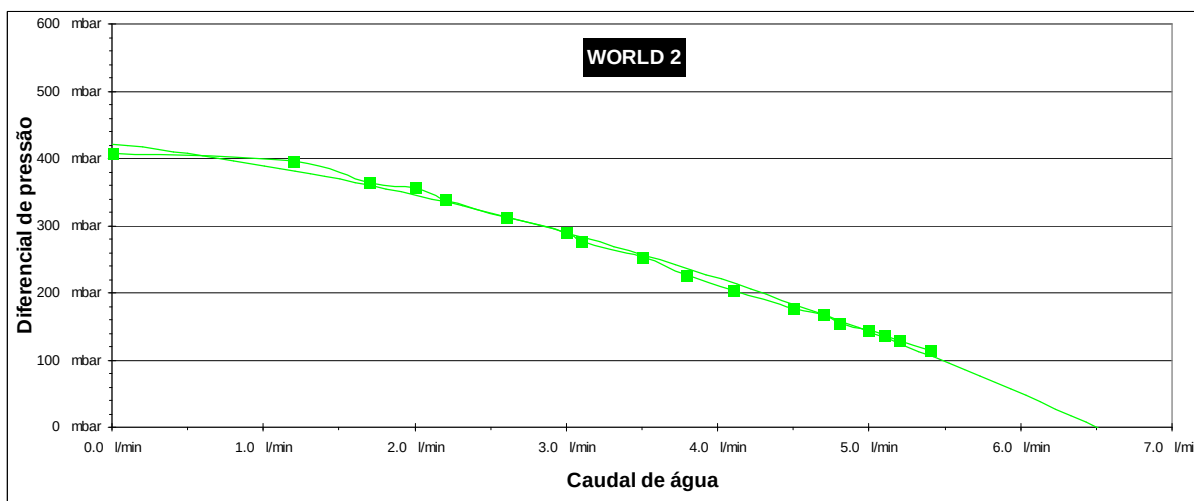


Gráfico A-2 - Curva de caudal da caldeira 24 kW actual

Ensaio 1º protótipo - circuito paralelo com permutador primário e saia em série e condensador em paralelo

Neste primeiro protótipo do circuito paralelo tentou-se otimizar os divergentes e convergentes do sistema, maquinando novas peças em latão. Assim esqueceu-se um pouco o tubo de cobre e as restantes perdas localizadas.

Neste primeiro protótipo o balanço térmico não foi analisado, assim como não foram os caudais individuais que passam em cada um dos circuitos paralelos.

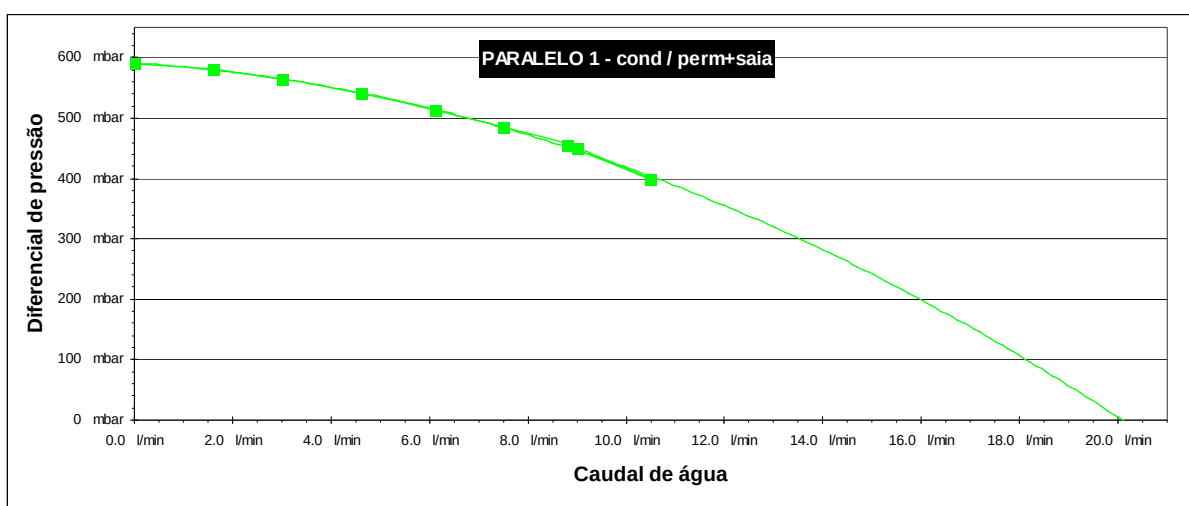


Gráfico A-3 - Curva de caudal da do primeiro protótipo construído

5º Teste - Ensaio 2º protótipo - circuito paralelo com condensador e saia em série e permutador primário em paralelo

Este circuito apresentava uma perda de carga mais favorável apesar de ainda não ser a expectável.

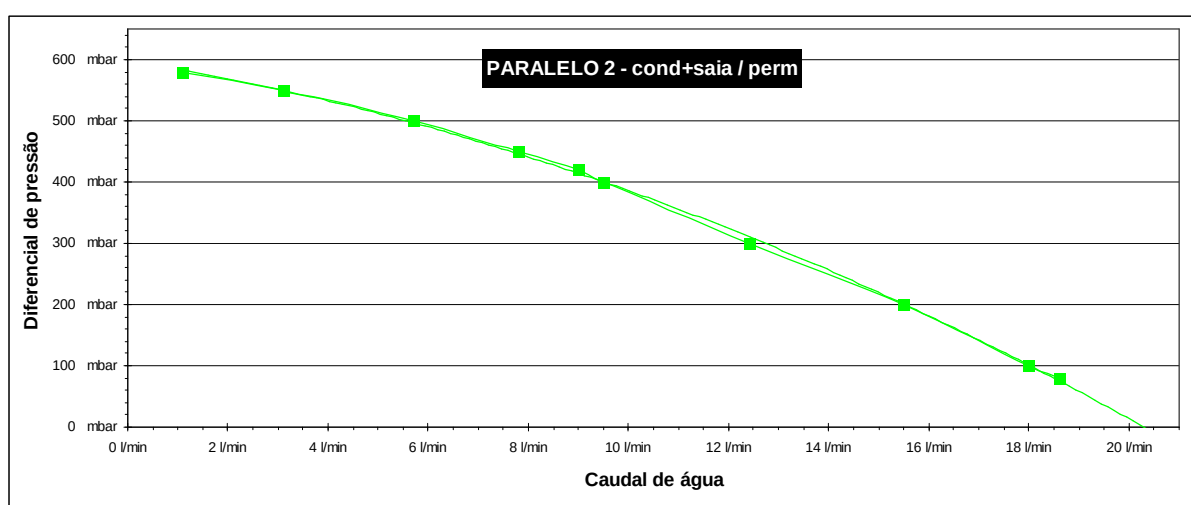


Gráfico A-4 - Curva característica de caudal do segundo protótipo construído

6º Teste - Ensaio 3º protótipo - circuito paralelo com condensador e saia em série e permutador primário em paralelo, com novo traçado para reduzir perda de carga

Este circuito apresentava uma perda de carga aceitável e que atingia a meta pretendida, ou seja, 17,2 l/min.

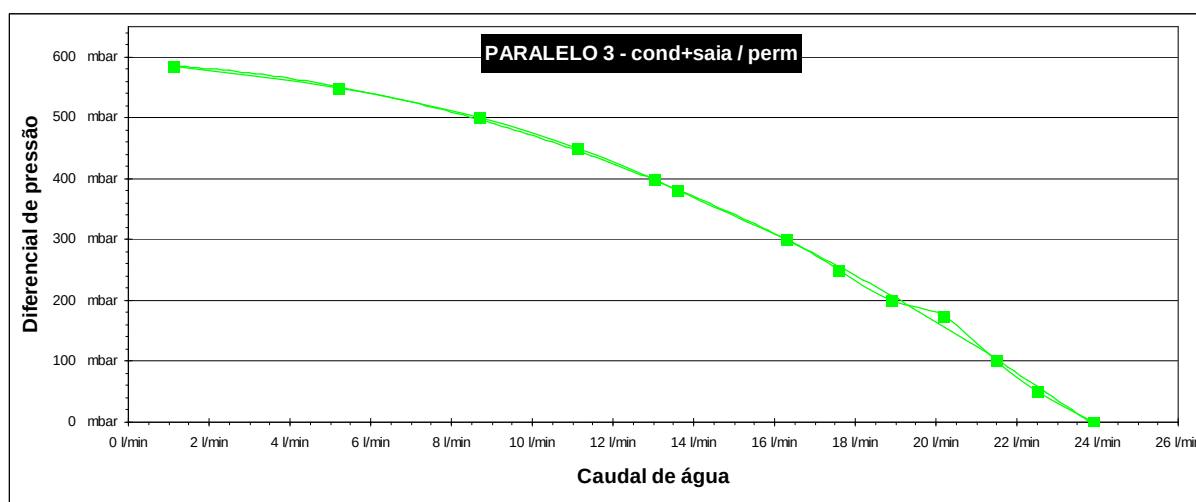


Gráfico A-5 - Curva característica de caudal do terceiro protótipo construído

Ensaiois parciais aos componentes do protótipo

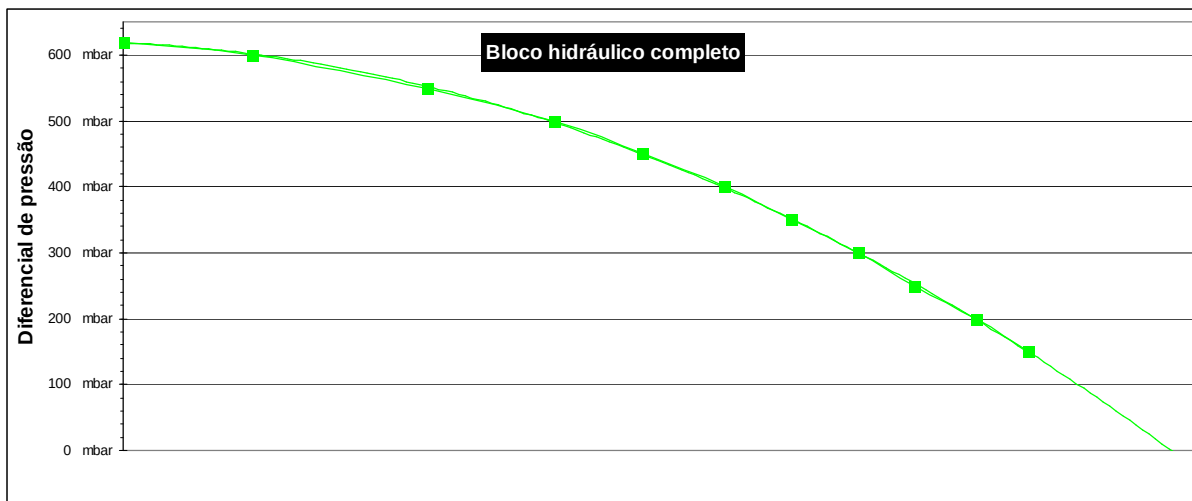


Gráfico A-6 - Curva característica de caudal do bloco hidráulico completo

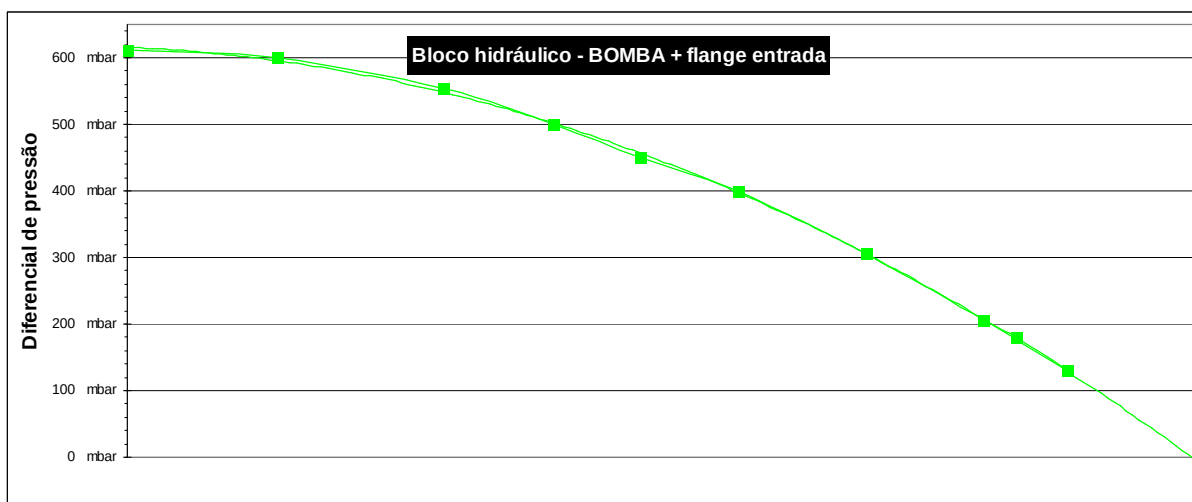


Gráfico A-7 - Curva característica de caudal de dois elementos, bomba e flange de entrada, do bloco hidráulico

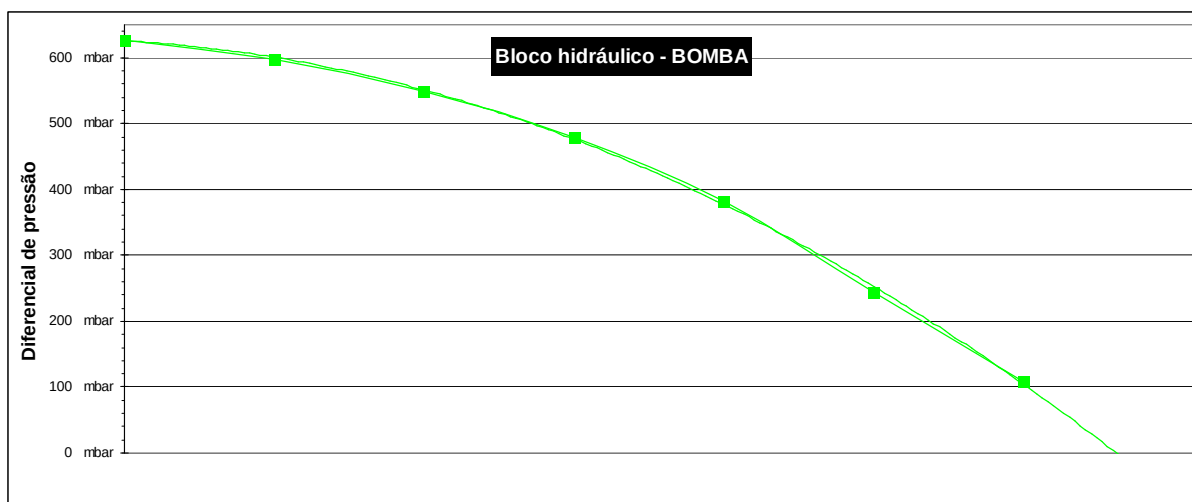


Gráfico A-8 - Curva característica de caudal da bomba da caldeira actual

A bomba actual da caldeira é da Grundfos, que atinge na velocidade máxima uma altura manométrica de 6,5 m de coluna de água. A curva característica fornecida pelo fornecedor está indicada no Gráfico A-9.

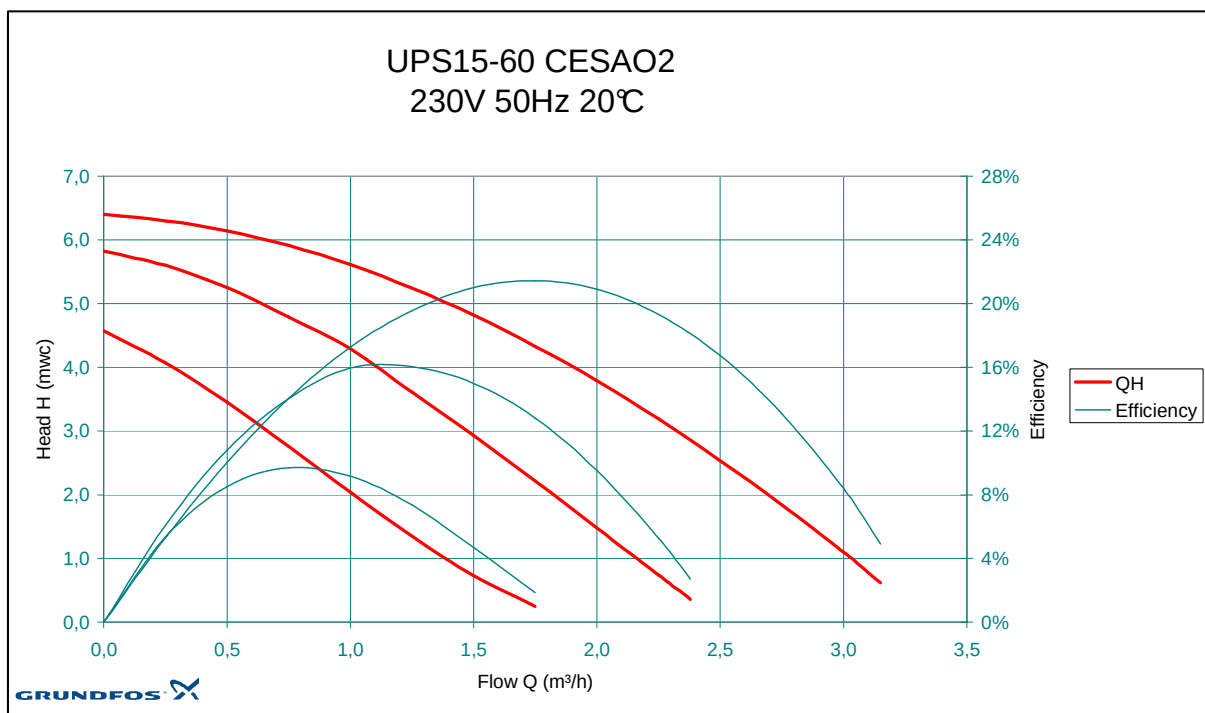


Gráfico A-9 - Curva característica da bomba da caldeira actual

Produto	Caudal imposto 17,2 l/min			TOTAL
	Flange entrada	Flange saída	Permutador	
Diferencial de pressão (mbar)				
GZT1	-135	-40	-405	-35
WORLD2	-135	-40	-2150	-1780
5 passagens	-135	-40	-240	130
PARALELO 1	-135	-40	-240	130
PARALELO 2	-135	-40	-245	125
PARALELO 3 condensador+saia / permutador montagem final	-135	-40	-110	260
PARALELO 4 com restrição de caudal num dos circuitos	-135	-40	-395	-35

Tabela A-1 - Tabela relativa às perdas de carga parcial dos componentes da caldeira

Produto	Caudal (l/min)	Diferencial de pressão (mbar)
GZT1	12,6	200
WORLD2	4,9	200
5 passagens	15,8	200
PARALELO 1	16	200
PARALELO 2	15,5	200
PARALELO 3 condensador+saia / permutador montagem final	18,9	200
PARALELO 4 com restrição de caudal num dos circuitos	12,6	200

Tabela A-2 - Caudal característico para um diferencial de 200 mbar para todos os aparelhos estudados

Produto	Caudal de água (l/min)	Caudal de água (l/h)	Potência de saída (kW) $m \times C_p \times \Delta T$	24 kW
GZT1	12,6	756	17,6	
WORLD2	4,9	294	6,8	
5 passagens	15,8	948	22,0	
PARALELO 1	16	960	22,3	
PARALELO 2	15,5	930	21,6	
PARALELO 3 condensador+saia / permutador montagem final	18,9	1134	26,4	
PARALELO 4 - PARALELO 3 com restrição de caudal	12,6	756	17,6	

Tabela A-3 - Potências retiradas dos aparelhos estudados com o caudal característico

ANEXO B - Tabelas de conversão
Tabelas de conversão para emissões de NOx segundo a norma DIN EN 483

1 ppm = 2,054 mg/m ³		G 110	
(1 ppm = 1 cm ³ /m ³)		mg/kWh	mg/MJ
O ₂ = 0 %	1 ppm = 1 mg/m ³ =	1,714 0,834	0,476 0,232
O ₂ = 3 %	1 ppm = 1 mg/m ³ =	2,000 0,974	0,556 0,270

Tabela B-1 - Conversão para primeira família de gases

1 ppm = 2,054 mg/m ³		G 20		G 25	
(1 ppm = 1 cm ³ /m ³)		mg/kWh	mg/MJ	mg/kWh	mg/MJ
O ₂ = 0 %	1 ppm = 1 mg/m ³ =	1,764 0,859	0,490 0,239	1,797 0,875	0,499 0,243
O ₂ = 3 %	1 ppm = 1 mg/m ³ =	2,059 1,002	0,572 0,278	2,098 1,021	0,583 0,284

Tabela B-2 - Conversão para segunda família de gases

1 ppm = 2,054 mg/m ³		G 30		G 31	
(1 ppm = 1 cm ³ /m ³)		mg/kWh	mg/MJ	mg/kWh	mg/MJ
O ₂ = 0 %	1 ppm = 1 mg/m ³ =	1,792 0,872	0,498 0,242	1,778 0,866	0,494 0,240
O ₂ = 3 %	1 ppm = 1 mg/m ³ =	2,091 1,018	0,581 0,283	2,075 1,010	0,576 0,281

Tabela B-3 - Conversão para terceira família de gases