



Instituto Superior de Engenharia

Politécnico de Coimbra

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Permutadores de calor de placas

Relatório de Estágio para a obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Especialização em Projeto, Instalação e Manutenção de
Sistemas Térmicos

Autor

Hugo Xavier Silva Oliveira

Orientador

Professor Doutor Gilberto Cordeiro Vaz

Supervisor na empresa

Arsopi-Thermal, Equipamentos Térmicos, SA

Doutor Hélder Gomes da Silva

Coimbra, Outubro de 2023



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

RESUMO

Este relatório de estágio consiste num documento necessário para a conclusão da unidade curricular de estágio inserida no segundo ano do Mestrado em Engenharia Mecânica na Especialização em Projeto, Instalação e Manutenção de Sistemas Térmicos. Este relatório tem como objetivo descrever as atividades desenvolvidas no âmbito do estágio onde foi possível aplicar o conhecimento adquirido durante a formação académica e obter experiência aplicada à indústria no contexto real.

O estágio foi realizado numa empresa que fabrica e monta permutadores de calor de placas (PHE), Arsopi-Thermal, sediada em Vale de Cambra. Esta empresa trabalha maioritariamente para as áreas alimentar, industrial, química, marinha, aquecimento, ventilação, ar condicionado e refrigeração (AVAC-R). Esta empresa também disponibiliza assistência técnica a todos PHE.

Durante o estágio foi possível acompanhar a direção de engenharia (DE), em estudos de sistemas de recuperação energética, projeto de alterações de PHE, aplicação de PHE em sistemas de refrigeração industrial em amónia e projeto de mini-skids.

Apesar de só serem produzidos PHE na Arsopi-Thermal, o PHE é um produto com muitas aplicações nas diferentes áreas, desde um aquecedor da água de uma pequena piscina a um arrefecedor de óleo de várias toneladas, o estágio foi muito enriquecedor e permitiu adquirir experiência em diferentes áreas de engenharia.

Palavras-chave: Permutadores de calor de placas, Recuperação energética, Modificação de PHE, Refrigeração industrial, Mini-skids

ABSTRACT

This internship report is a document required for the conclusion of the curricular unit, internship, inserted in the second year of the Master's degree in Mechanical Engineering in the Specialization in Project, Installation, and Maintenance of Thermal Systems. This report aims to describe the activities developed during the internship where it was possible to apply the knowledge acquired during the classes and to obtain more knowledge applied to industry in a real context.

The internship was carried out in a company that manufactures and assembles plate heat exchangers (PHE), Arsopi-Thermal, based in Vale de Cambra. This company works mainly for the food, industrial, chemical, marine, heating, ventilation, air conditioning and refrigeration (HVAC-R) areas. This company also provides technical assistance to all PHE's.

During the internship it was possible to follow the engineering department (DE), in studies of energy recovery systems, modifications of PHE, application of PHE in industrial refrigeration systems in ammonia and project of mini skids.

Although, Arsopi-Thermal only produces PHE's, PHE is a product with many applications in different areas, from a heater for the water of one small swimming pool to an oil cooler of several tons, the internship was very enriching experience in the different areas of engineering.

Keywords: Plate heat exchanger, Energy recovery, PHE modifications, Industrial refrigeration, Mini skids

EPÍGRAFE

Remember to look up at the stars and not down at your feet. Try to make sense of what you see and wonder about what makes the universe exist. Be curious. And however difficult life may seem, there is always something you can do and succeed at. It matters that you don't just give up.

Stephen Hawking

AGRADECIMENTOS

Este caminho só foi possível com a ajuda e colaboração de várias pessoas, que me apoiaram em todos os momentos, às quais expresso os meus maiores agradecimentos:

Ao Doutor Hélder Gomes da Silva, que sempre foi incansável com todo o apoio e conhecimento necessário e pelo tempo dispensado;

Ao Professor Doutor Gilberto Cordeiro Vaz, pela flexibilidade e compreensão durante o estágio e conhecimento transmitido ao longo dos anos de formação;

A todos os trabalhadores da Arsopi-Thermal, em especial ao departamento de engenharia, que sempre se disponibilizaram para ajudar e pelo conhecimento e experiência transmitida;

A toda a minha família e amigos, por todo encorajamento e apoio durante este longo percurso académico, que permitiu-me formar tanto a nível profissional como a nível pessoal.

ÍNDICE

Resumo	i
<i>Abstract</i>	ii
Epígrafe.....	iii
Agradecimentos	iv
Índice.....	v
Índice de tabelas	vii
Índice de figuras.....	viii
Lista de siglas e acrónimos	x
Lista de símbolos	xi
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Estrutura do relatório.....	2
2 Descrição da empresa – Arsopi-Thermal	3
3 Permutadores de calor de placas.....	6
3.1 Introdução	6
3.2 Componentes de um PHE.....	7
3.2.1 Placas de transferência de calor	8
3.2.2 Juntas.....	11
3.2.3 Placas de aperto fixa e móvel.....	13
3.2.4 Blocos intermédios.....	14
3.2.5 Tirantes de aperto.....	17
3.2.6 Tirantes de suporte.....	19
3.2.7 Suporte posterior.....	20
3.3 Configuração do escoamento dos fluidos	21
3.4 Ensaio hidráulico.....	22
4 Estudo de sistemas de recuperação energética baseados em PHE	24
4.1 Caso I: Ajuste do dimensionamento da recuperação dos permutadores ...	24
4.2 Caso II: Inclusão de etapas suplementares de recuperação	28
4.2.1 Caso II (a) Aproveitamento de outros efluentes disponíveis	28
4.2.2 Caso II (b) Recuperação entre operações descontínuas	32
5 Projeto de alterações de PHE	36

5.1	Introdução.....	36
5.2	Alteração 1.....	37
5.3	Alteração 2.....	39
5.4	Alteração 3.....	41
6	Projeto de mini-skids.....	44
6.1	Objetivo.....	44
6.2	Componentes do mini-skid.....	44
6.2.1	Permutador.....	44
6.2.2	Suporte permutador.....	46
6.2.3	Bomba circuladora.....	47
6.2.4	Automação.....	49
6.3	Cálculos térmicos.....	52
6.4	Verificação do funcionamento do mini-skid.....	53
7	Conclusão.....	55
	Referências bibliográficas.....	56
	Anexo – cálculos térmicos do projeto de mini-skids.....	57

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1 - Redução do consumo de energia no caso I.....	27
Tabela 4.2 - Redução do consumo de energia no caso II (a).....	31
Tabela 6.1 - Dados dos cálculos térmicos dimensionados.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Fachada Arsopi-Thermal.....	3
Figura 2.2 – Permutadores FHR90 e FHU005 com um boneco com altura de 1,75 m como referência	4
Figura 3.1 - Constituição de um permutador de calor de placas	8
Figura 3.2 - Placa de transferência de calor: a) <i>chevron</i> b) <i>washboard</i>	9
Figura 3.3 - Geometria das PTC.....	10
Figura 3.4 - Zonas da placa de transferência de calor: vermelho - HTA; verde - distribuição; azul - transição; amarelo - furo.....	10
Figura 3.5 - Identificação das placas tipo “A” e “B”	11
Figura 3.6 - Junta " <i>slit-in</i> "	12
Figura 3.7 - Pormenor do sistema de dupla junta. A zona (c) é câmara de fuga. Sinaliza fugas do tipo (1) escoamento nos canais e (2) escoamento nos furos.....	12
Figura 3.8 - Placa de aperto fixa em aço carbono	13
Figura 3.9 - Tipo de ligações: a) ligações roscadas b) ligações com pernos c) ligações flangeadas	14
Figura 3.10 - Esquema genérico de pasteurização.....	15
Figura 3.11 - Bloco intermedio	16
Figura 3.12 - Estrutura interior do bloco	16
Figura 3.13 - Canto do bloco intermedio: a) canto simples; b) canto duplo.....	17
Figura 3.14 - Tirantes de aperto.....	17
Figura 3.15 - Aperto do permutador com expansores.....	18
Figura 3.16 – Aperto do permutador com expansores: a) antes de expandir; b) depois de expandir.....	19
Figura 3.17 - Tirante de suporte superior.....	20
Figura 3.18 - Suporte posterior.....	20
Figura 3.19 - Escoamentos simples: a) paralelo; b) contra-corrente	21
Figura 3.20 - Perfil de temperatura: a) escoamento em paralelo; b) escoamento em contra-corrente	21
Figura 3.21 - Escoamento multipasse	22
Figura 3.22 – Excerto de uma folha de dados técnicos	22
Figura 3.23 - PHE a realizar teste hidráulico: a) vista frontal b) vista lateral	23
Figura 4.1 – Circuitos envolvidos no pasteurizador.....	26

Figura 4.2 – Excerto da <i>datasheet</i> antes do aumento da recuperação energética	27
Figura 4.3 – Excerto da <i>datasheet</i> depois do aumento da recuperação energética....	27
Figura 4.4 – Circuito do pasteurizador sem arrefecimento adicional	30
Figura 4.5 - Excerto da <i>datasheet</i> do pasteurizador sem pré-aquecimento	31
Figura 4.6 - Excerto da <i>datasheet</i> do pasteurizador com pré-aquecimento	32
Figura 4.7 - Excerto do programa térmico do pré-aquecimento.....	32
Figura 4.8 - Arrefecedor para mosto sem recuperação.....	34
Figura 4.9 - Arrefecedor para mosto com recuperação	34
Figura 4.10 - Excerto do programa térmico inicial	35
Figura 4.11 - Excerto do programa térmico com recuperação de calor	35
Figura 4.12 - Fotografia da instalação provisória para teste no cliente.....	35
Figura 5.1 - Instalação atual da alteração 1	37
Figura 5.2 – Vista frontal do projeto 3D da alteração 1	38
Figura 5.3 - Vista traseira do projeto 3D da alteração 1	39
Figura 5.4 - Instalação da alteração 2	40
Figura 5.5 – Projeto 3D dos prolongamentos	40
Figura 5.6 - Instalação da alteração 3	41
Figura 5.7 – Vista frontal do projeto 3D da alteração 3	42
Figura 5.8 - Vista traseira do projeto 3D da alteração 3	43
Figura 6.1 - Esquema hidráulico do mini-skid.....	44
Figura 6.2 - Modelação 3D da ponteira personalizada: a) vista em perspetiva; b) vista em corte	45
Figura 6.3 - Modelação 3D do suporte para o mini-skid.....	46
Figura 6.4 – Protótipo do suporte do mini-skid.....	47
Figura 6.5 - Grundfos ALPHA1 L 25-60 130	48
Figura 6.6 - Curva da bomba Grundfos ALPHA1 L 25-60 130	48
Figura 6.7 - Protótipo da automação montada no suporte	49
Figura 6.8 - Circuito simulado no Tinkercad	50
Figura 6.9 - Automação montada na placa de ensaios.....	51
Figura 6.10 - Automação montada na caixa estanque.....	51
Figura 6.11 - Sensor de temperatura DS18B20	52
Figura 6.12 – Sistema para teste do mini-skid.....	54

LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

AQS	Águas Quentes Sanitárias
ASME	<i>American Society of Mechanical Engineers</i>
AVAC-R	Aquecimento, Ventilação, Ar Condicionado e Refrigeração
DE	Direção de Engenharia
EPC	<i>Engineering, Procurement, and Construction</i> (Engenharia, procura e construção)
HTA	<i>Heat Transfer Area</i> (Área de transferência de calor)
ISEC	Instituto Superior de Engenharia de Coimbra
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NTU	<i>Number Transfer Unit</i> (Número de unidades de transferência)
PED	<i>Pressure Equipment Directive</i> (Diretiva equipamentos sob pressão)
PES	Poliétersulfona
PHE	<i>Plate Heat Exchanger</i> (Permutador de calor de placas)
PTC	Placas de Transferência de Calor
SGQ	Sistema de Gestão de Qualidade

LISTA DE SÍMBOLOS

Alfabeto latino

ΔP	Perda de carga
T_{aa}	Temperatura água armazenada
T_{am}	Temperatura armazenamento mosto
T_{eaq}	Temperatura entrada aquecimento
T_{ear}	Temperatura entrada arrefecimento
T_{ep1}	Temperatura entrada PHE 1
T_{ep2}	Temperatura entrada PHE 2
T_f	Temperatura final
T_i	Temperatura inicial
T_{ia}	Temperatura inicial água
T_p	Temperatura pasteurização
T_{pm}	Temperatura produção mosto
T_r	Temperatura recuperação

Alfabeto grego

β	Ângulo da geometria
---------	---------------------

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

O presente relatório tem o objetivo de descrever as atividades desenvolvidas durante o estágio curricular no âmbito do segundo ano do mestrado em Engenharia Mecânica - Área de Especialização em Projeto, instalação e Manutenção de Sistemas Térmicos lecionado pelo Instituto Superior de Engenharia de Coimbra com o objetivo a obtenção de grau de Mestre em Engenharia Mecânica.

O estágio curricular foi realizado na empresa Arsopi-Thermal, localizada no conselho de Vale de Cambra, com a duração de 8 meses, com início a 17 de outubro de 2022 e término a 16 de junho de 2023, em horário laboral. O aluno acompanhou a direção de engenharia (DE) no seu trabalho diário, tendo a oportunidade de observar as diferentes componentes de trabalho desenvolvido no departamento e até participar na resolução de alguns problemas propostos à equipa.

Este estágio teve como principais objetivos, alargar e consolidar todo o conhecimento adquirido durante os anos de formação académica no ISEC, contacto e integração no mercado de trabalho e desenvolvimento de competências e experiência.

Durante o estágio foi possível a visita a clientes, onde se observou os PHE em funcionamento e todo o contexto envolvente ao permutador como tubagem, bombas, válvulas e acessórios.

A indústria tem progressivamente mais interesse nos PHE, causado pela crescente importância da conservação de energia nos dias de hoje, devido ao PHE possuir rendimento mais elevado relativamente a outros tipos de permutadores, que leva a um menor consumo de energia primária para a realização do mesmo processo de parte da indústria.

Este equipamento é indispensável atualmente para a indústria, nomeadamente para a indústria alimentar, devido a processos como a pasteurização, que são essenciais para os produtos alimentares.

Os permutadores não estão só presentes por toda a indústria, mas também se encontram instalados com frequência em embarcações, edifícios comerciais e residenciais em consequência de serem extremamente compactos comparativamente a outros tipos de permutadores. Este equipamento é fundamental não só a alguns processos industriais como também ao conforto do dia-a-dia para aplicações de AVAC-R e produção de águas quentes sanitárias (AQS).

1.2 Estrutura do relatório

O relatório de estágio encontra-se dividido em 7 capítulos. Para além deste 1º capítulo como introdução ao relatório, existem mais os seguintes capítulos.

No capítulo 2 é realizado uma pequena apresentação da empresa onde decorreu o estágio.

No capítulo 3 descreve-se o equipamento produzido nas instalações como apoio às noções fundamentais ao nível deste documento.

No capítulo 4 é realizado o estudo sobre casos de aumento da recuperação energética com o objetivo do aumento da eficiência dos equipamentos já instalados.

No capítulo 5 descrevem-se os projetos das alterações executadas nas instalações de PHE já existentes, seja devido a troca de equipamento ou modificação do mesmo.

No capítulo 6 apresenta-se o desenvolvimento do projeto de um novo produto para a empresa, mini-skid, com o objetivo de alargar o leque do produto disponibilizado ao cliente.

As principais conclusões dos trabalhos desenvolvidos durante o estágio são apresentadas no capítulo 7.

2 DESCRIÇÃO DA EMPRESA – ARSOPI-THERMAL

A Arsopi-Thermal, Figura 2.1, foi fundada em 1992 a partir da empresa-mãe, o Grupo Arsopi, sediado e fundado em Vale de Cambra no ano 1942, pelo Arlindo Soares de Pinho.

A empresa está também localizada no concelho de Vale de Cambra.



Figura 2.1 - Fachada Arsopi-Thermal

No seu início, o grupo Arsopi fornecia equipamentos com o objetivo de modernizar e expandir as operações dos produtores de laticínios locais, nomeadamente pela instalação de linhas completas de produção. Com o crescimento ao longo dos anos, o grupo Arsopi acabou por expandir-se para as áreas das indústrias químicas e petroquímicas. Com essa expansão surgiria a necessidade de fabricar os seus próprios PHE, motivando a criação e lançamento da Arsopi-Thermal.

Após vários anos de cooperação ao abrigo de um acordo de transferência de tecnologia que ainda vigora, atualmente a empresa é propriedade em 85% do Grupo Arsopi e 15% Hisaka Works.

A empresa Hisaka Works é um grande fabricante japonês de PHE com vasta experiência e conhecimento. A Arsopi-Thermal e a Hisaka Works trabalham em parceria com o objetivo de melhoria contínua do produto e da sua produção.

Por esta altura a Arsopi-Thermal já conta com mais de 30 anos de experiência no fabrico de componentes, montagem de unidades completas e prestação de assistência pós-venda. Revela, por isso mesmo, capacidade para fornecer soluções personalizadas para situações variadas. A empresa tem um grande catálogo com uma vasta amplitude de produtos. Como exemplo, na Figura 2.2, mostram-se dois equipamentos de dimensões completamente distintas.

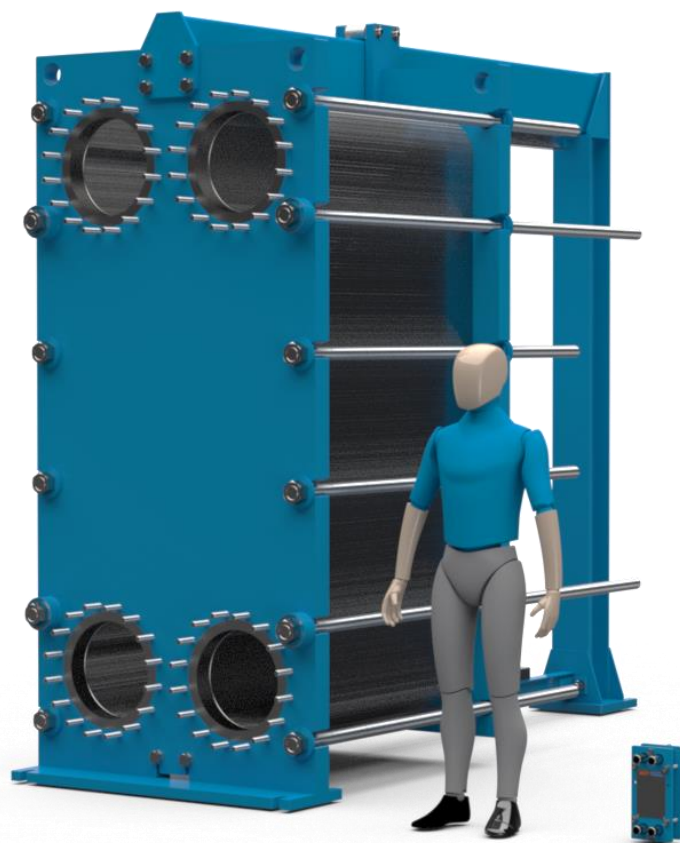


Figura 2.2 – Permutadores FHR90 e FHU005 com um boneco com altura de 1,75 m como referência

A Arsopi-Thermal serve várias áreas: alimentar; industrial; química; marinha; aquecimento, ventilação, ar condicionado e refrigeração (AVAC-R); e ainda *engineering, procurement and construction* (EPC). A estes segmentos de produção de novas unidades, suportados por capacidades únicas de estampagem na Península Ibérica, junta-se ainda a vertente de assistência técnica. O catálogo dos serviços pós-venda contempla as atividades de manutenção, recondicionamento e venda de partes sobresselentes originais. Atualmente a empresa fornece permutadores para todo mundo (em 2022 a sua taxa de exportação foi de 65%).

Para fazer face a requisitos de mercado diversificados, as atividades da empresa seguem um sistema de gestão de qualidade (SGQ) certificado segundo a ISO 9001:2015. O mesmo está ainda habilitado a responder às exigências legais do mercado europeu dos equipamentos sob pressão – a empresa detém certificação nos módulos H e H1 da Diretiva PED 2014/68/EU. Quanto a requisitos específicos de projeto e controlo de qualidade, o SGQ encontra-se certificado nos âmbitos ASME U Stamp e AD 2000 Merkblatt HP0, podendo igualmente responder às inspeções regulares de equipamentos no segmento da marinha (BV, DNV, Lloyds).

Atualmente, a Arsopi-Thermal emprega cerca de 65 trabalhadores e é composta por seis direções: geral, financeira, qualidade, comercial, engenharia e operações. A

Permutadores de calor de placas

direção das operações é dividida em cinco mini-fábricas: corte e maquinação; soldadura e pintura; montagem; estampagem; assistência técnica. A forma como a produção está dividida permite que cada mini-fábrica trabalhe de forma independente das outras mini-fábricas.

3 PERMUTADORES DE CALOR DE PLACAS

3.1 Introdução

Um permutador de calor de placas é um equipamento cujo objetivo é a transferência de calor entre dois ou mais fluidos. O calor é transmitido do fluido mais quente para o fluido mais frio. Essa transmissão de calor é feita através de um conjunto de placas de transferência de calor (PTC) que formam câmaras, onde o fluido circula, vedadas com juntas em combinação com o aperto da estrutura de suporte. A estrutura de suporte é constituída por vários elementos que permitem a abertura do PHE mesmo após instalação, garantindo a possibilidade de efetuar operações de limpeza e/ou modificações ao longo do tempo.

No início dos anos 1880, devido à descoberta que doenças como a tuberculose estariam relacionadas com leite cru, iniciou-se a experimentação da pasteurização do leite. A pasteurização do leite consiste em aquecer o leite a uma determinada temperatura, manter durante um curto intervalo de tempo e depois arrefecer o leite rapidamente. Este processo necessita de um permutador muito eficiente e permita ser facilmente limpo. Uma vez que a tecnologia disponível na altura não cumpria esses requisitos de forma clara, essa oportunidade constitui a motivação para iniciar a investigação que conduziria à solução apresentada pelos PHE.

O PHE é um equipamento classificado como um permutador de contacto indireto (devido aos fluidos envolvidos nunca se misturarem). Este tipo de permutador tem vantagens relativamente a outros permutadores, nomeadamente:

- O PHE é considerado um permutador compacto devido a um elevado rácio entre a área de transferência de calor e o volume do equipamento, sendo que o peso e o volume são aproximadamente 30% e 20%, respetivamente, menores que os permutadores de carcaça e tubo para a mesma área de transferência de calor.
- Este tipo de permutador possui eficiências muito altas conseguindo atingir valores de 90%, ideal para uma maior poupança de energia requerida nos dias correntes.
- O coeficiente de transferência de calor é substancialmente superior em comparação a um permutador tubular para condições comparáveis devido ao cancelado das placas criar turbulência, o que ajuda na transferência de calor e também na diminuição das incrustações.
- Este tipo de permutador como possui alto coeficiente de transferência térmica e com arranjo em contra-corrente, consegue obter temperaturas de saída do fluido do lado frio com apenas 1° C de diferença da temperatura do fluido do lado quente.

Permutadores de calor de placas

- O facto do permutador ser totalmente desmontável, possibilita uma fácil limpeza ou mesmo, a troca de PTC, isto é um ponto decisivo para algumas indústrias que utilizam fluidos que geram muitas incrustações.
- Outra vantagem é o volume do fluido que permanece dentro do permutador enquanto sofre a troca térmica é relativamente baixo em comparação com outros tipos de permutadores.

Os PHE também têm algumas desvantagens tais como a pressão e temperatura de trabalho máximas que este tipo de permutador admite são inferiores a permutadores como do tipo carcaça e tubo, limitando algumas aplicações.

O dimensionamento deste tipo de permutadores também é bastante mais difícil, não existindo um método geral implementado na indústria, sendo que cada fabricante desenvolve os seus próprios métodos de dimensionamento do equipamento.

3.2 Componentes de um PHE

Na Figura 3.1 podem-se observar os principais componentes de um PHE.

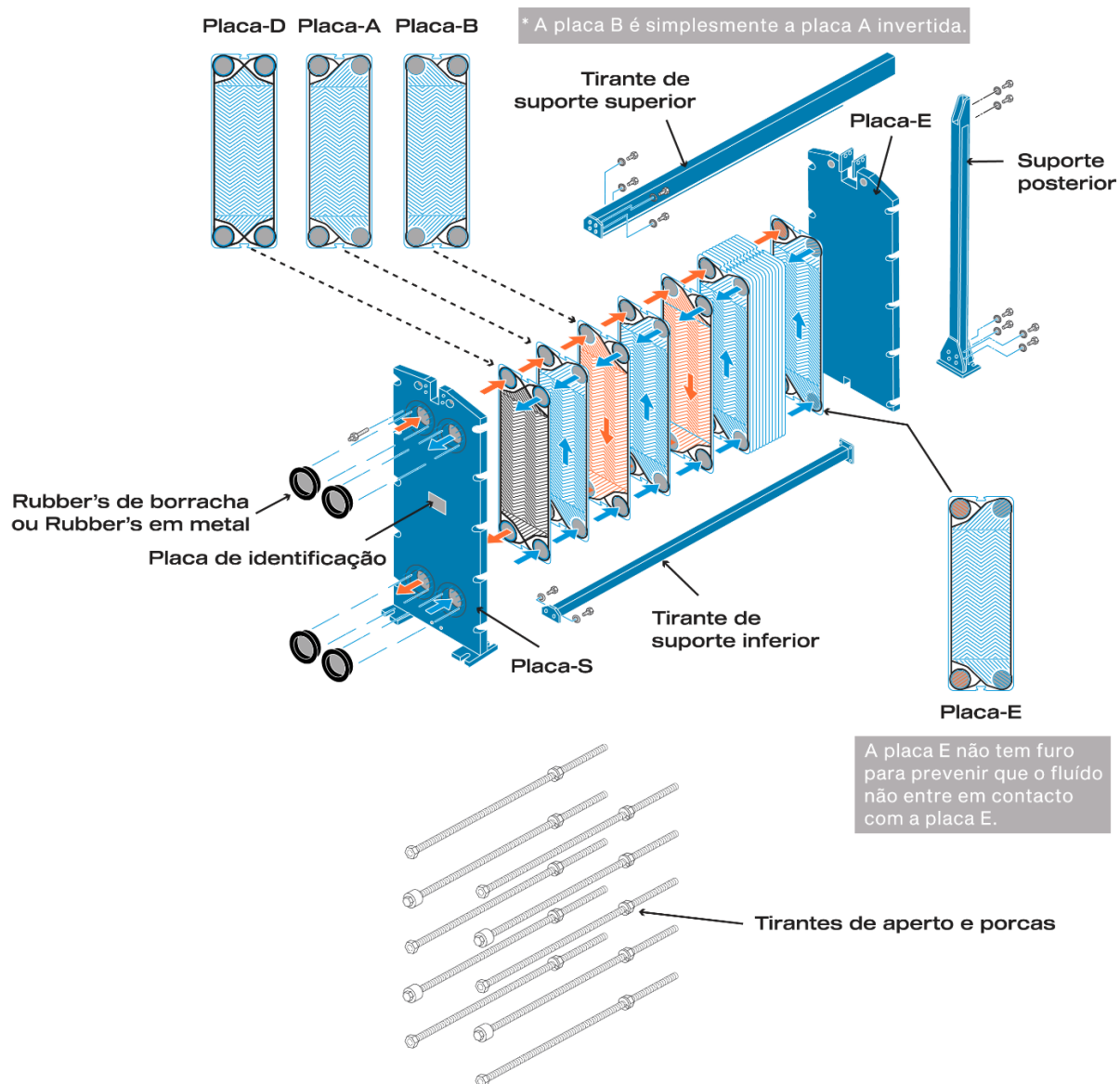


Figura 3.1 - Constituição de um permutador de calor de placas

Fonte: Adaptado do website da Arsopi-Thermal.

3.2.1 Placas de transferência de calor

Este é o principal componente do PHE, promove a troca térmica entre os fluidos com as corrugações presentes e materiais termicamente condutores. Existem principalmente, dois tipos de corrugações presentes nas placas: *chevron* (ou *herringbone*) e *washboard*. É possível observar na Figura 3.2 que a principal diferença entre estes dois tipos, é a inclinação do corrugado.

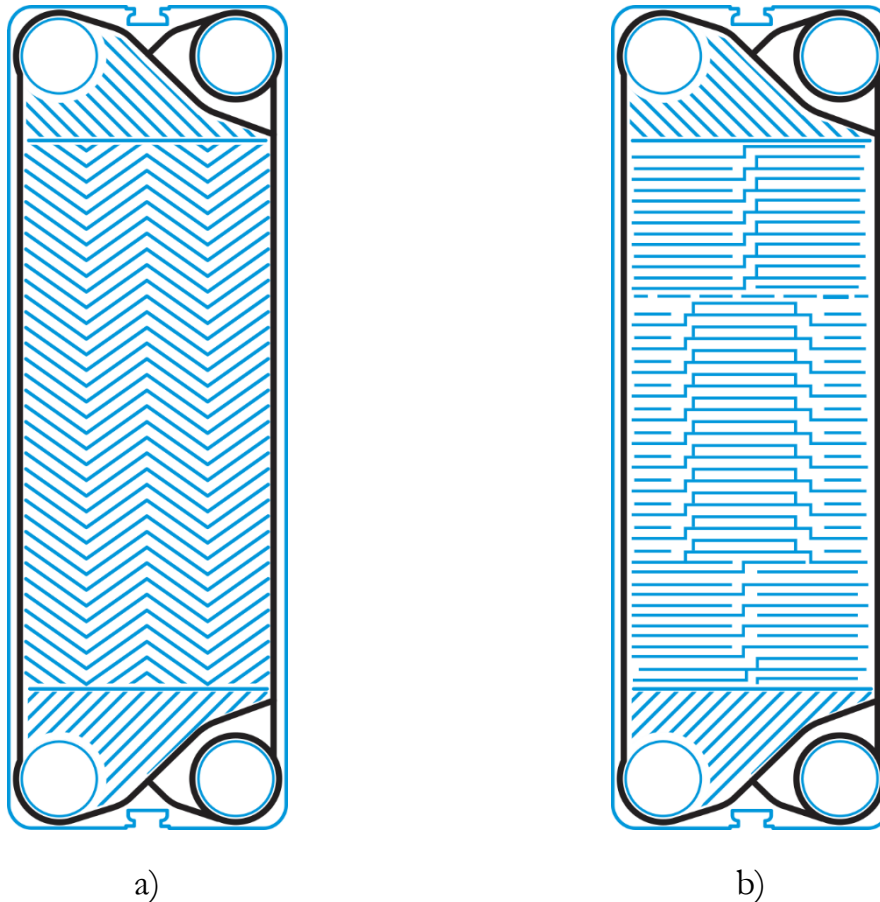


Figura 3.2 - Placa de transferência de calor: a) *chevron* b) *washboard*

Existe muitos modelos que divergem na geometria, como no ângulo da geometria (β), profundidade e passo do corrugado assim como na área de transferência de calor (HTA), para as mais diversas aplicações. A relação do β com a capacidade de transferir calor (NTU) e a perda de carga (ΔP) é a seguinte:

$$\beta \uparrow \Rightarrow NTU \downarrow; \Delta P \downarrow$$

$$\beta \downarrow \Rightarrow NTU \uparrow; \Delta P \uparrow$$

Na Figura 3.3 é possível observar as dimensões mais importantes representadas, graficamente, na placa de transferência de calor.

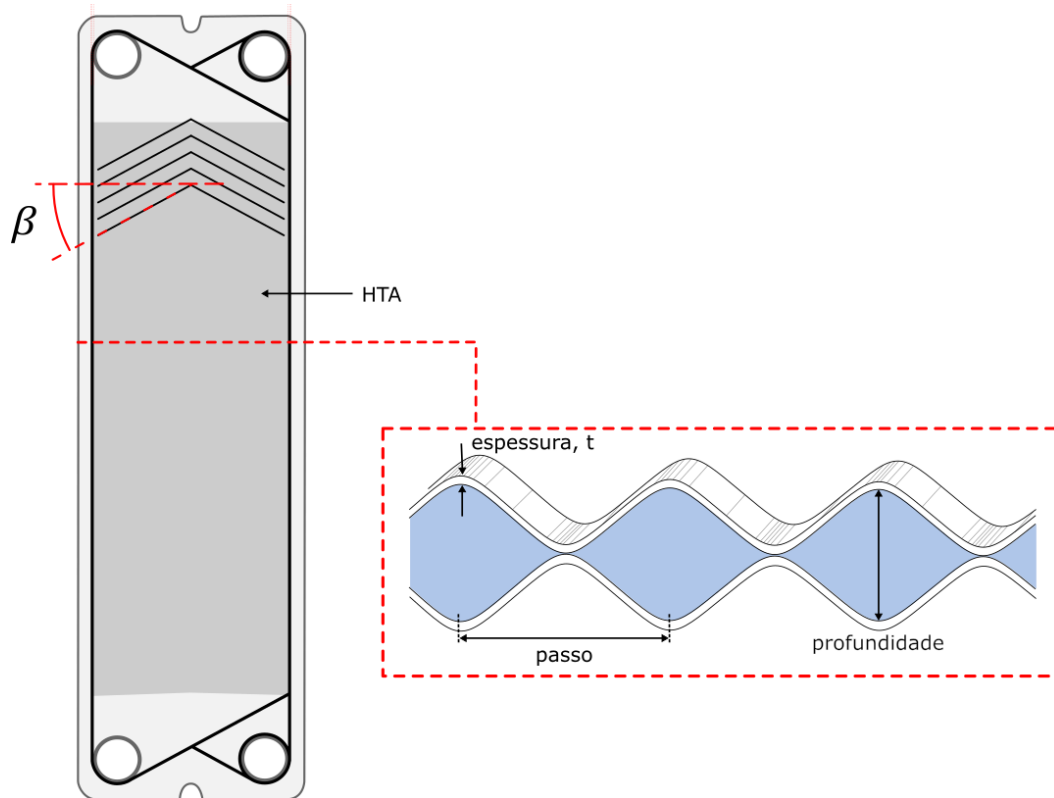


Figura 3.3 - Geometria das PTC

Este componente é formado principalmente por quatro zonas: HTA; Distribuição; Furos; Transição. Na Figura 3.4 é possível distinguir as quatro zonas.

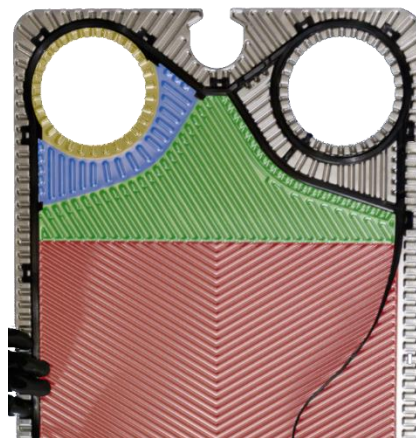


Figura 3.4 - Zonas da placa de transferência de calor: vermelho - HTA; verde - distribuição; azul - transição; amarelo - furo

A HTA é a zona mais extensa, onde tem lugar a maioria da transferência de calor e onde se encontram as corrugações com o objetivo para aumentar a turbulência do escoamento. Para uma transmissão de calor mais uniformemente possível por toda placa de transferência, existe a zona de distribuição para dividir o fluxo do fluido para toda HTA. A zona da transição facilita a transição do fluido, do furo para a placa de transferência de calor. A distribuição do fluido pelas placas é realizada pelo

Permutadores de calor de placas

furo da placa de transferência de calor. A presença dos furos nas PTC não é obrigatória e isto permite diferentes configurações de escoamento.

As PTC são feitas a partir das *blanksheet*, matéria-prima que é pré-cortada com o formato retangular, pronto para ser estampada, que são de materiais como aços inoxidáveis, titânio, níquel e respectivas ligas. A placa de transmissão de calor tem uma espessura fina para permitir uma alta transferência térmica, normalmente entre 0.4 mm e 1 mm. Estas espessuras são determinadas, para os dados da pressão e temperatura de projeto, por dados testados em laboratório. As ondulações nas placas de transmissão de calor criam turbulência ao escoamento do fluido que por sua vez aumenta a transferência térmica. O posicionamento invertido das placas permite que se formem câmaras onde circula o fluido. Conforme a posição da placa pode denominar-se de placa “A” e placa “B”, Figura 3.5.

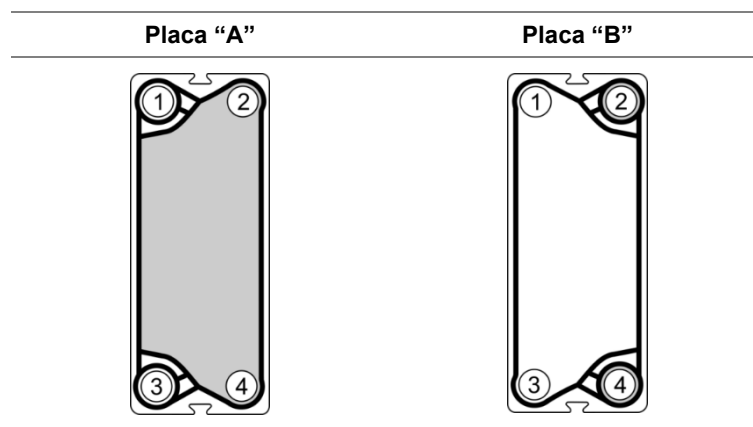


Figura 3.5 - Identificação das placas tipo “A” e “B”

Fonte: retirado de Manual de Instruções Arsopi-Thermal (Rev.12, p. 12)

Esta inversão cria muitos pontos de contacto entre as PTC calor que contribui para a resistência do permutador a nível de pressão máxima admissível.

3.2.2 Juntas

As juntas são os elementos que contêm os fluidos entre as PTC assim evitando fugas e a mistura dos fluidos presentes no permutador.

Existem dois tipos de fixação da junta na placa: junta de colar ou junta “*slit-in*”. As juntas “*slit-in*”, Figura 3.6, encaixam em fendas localizadas na parte exterior das PTC enquanto as juntas de colar são fixadas com colas específicas no seu canal nas PTC.

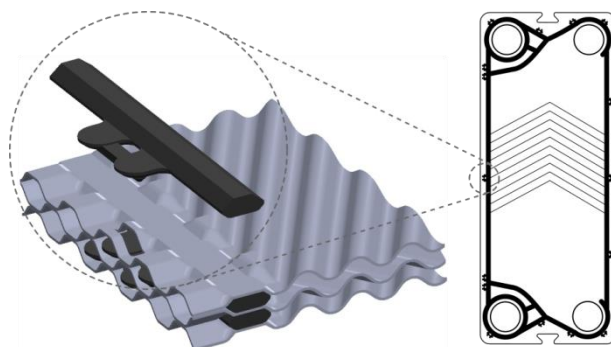


Figura 3.6 - Junta "slit-in"

Fonte: retirado de Manual de Instruções Arsopi-Thermal (Rev.12, p. 9)

Os materiais mais usados na produção das juntas são os seguintes: Nitrilo (NBR); Etileno-Propileno-Dieno (EPDM); Butilo (IIR); Borracha fluorada (FKM); Silicone (Q); Nitrilo revestido a Teflon (NBR/PTFE).

Os diferentes materiais têm características distintas sendo que cada material tem as suas aplicações. Propriedades como temperatura, pressão, compatibilidade com os fluidos e tipo de utilização permitem a escolha do material da junta do permutador a dimensionar.

As juntas têm uma particularidade muito interessante, possuem câmara de fuga, que possibilita que o fluido sob pressão, em caso de fuga, seja libertado para o exterior através de umas aberturas em zonas específicas da junta em contrário de contaminar o circuito do outro fluido e ainda possibilita que a fuga seja facilmente detetada no exterior do PHE.

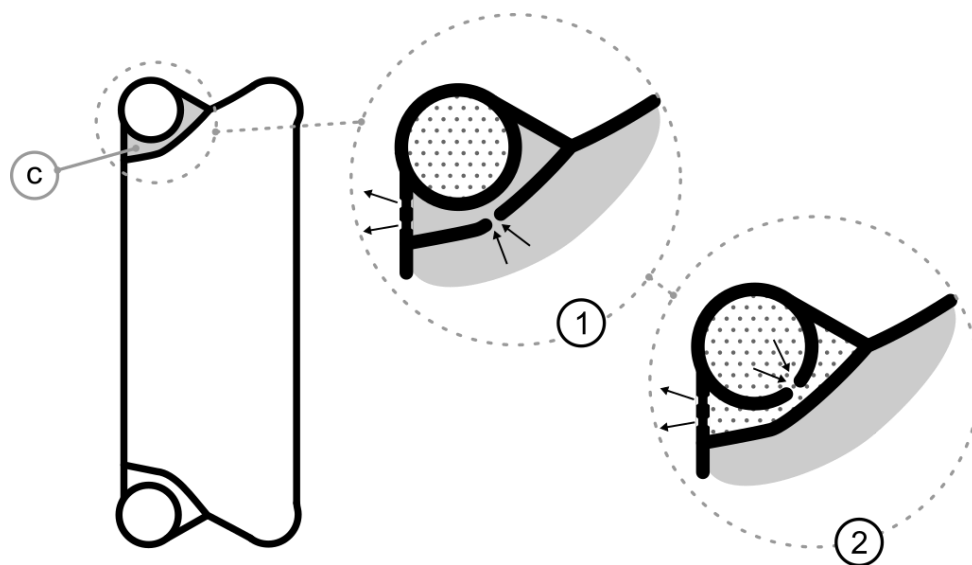


Figura 3.7 - Pormenor do sistema de dupla junta. A zona (c) é câmara de fuga. Sinaliza fugas do tipo (1) escoamento nos canais e (2) escoamento nos furos.

Fonte: retirado de Manual de Instruções Arsopi-Thermal (Rev.12, p. 9)

3.2.3 Placas de aperto fixa e móvel

As placas de aperto são um elemento importante da estrutura do PHE, de espessura muito superior as PTC, que permite que todo conjunto de placas não deforme quando submetidas à pressão de trabalho do fluido. As placas de aperto são dimensionadas de forma que a deformação causada pela força aplicada, não permita fugas e aguentem as mais exigentes condições de trabalho como a pressão e temperatura.

Os clientes podem exigir que sejam produzidos em materiais específicos, mas normalmente são produzidos em aço carbono e aço inoxidável, sendo o aço inoxidável é mais usado para a indústria alimentar, devido as exigentes normas no setor. As placas de aperto em aço carbono são protegidas com tinta para evitar corrosão enquanto no aço inoxidável não tem qualquer tipo de tratamento devido a sua resistência.

Estas placas podem possuir várias furações para a entrada e saída dos fluidos, fixação dos tirantes e olhais de movimentação para ajudar a sua elevação e deslocação, como se pode ver na Figura 3.8.



Figura 3.8 - Placa de aperto fixa em aço carbono

Estas placas permitem ligar o PHE à tubagem, por isso são disponibilizadas diferentes formas de ligação, Figura 3.9: ligações roscadas, ligações com parafusos e ligações flangeadas.

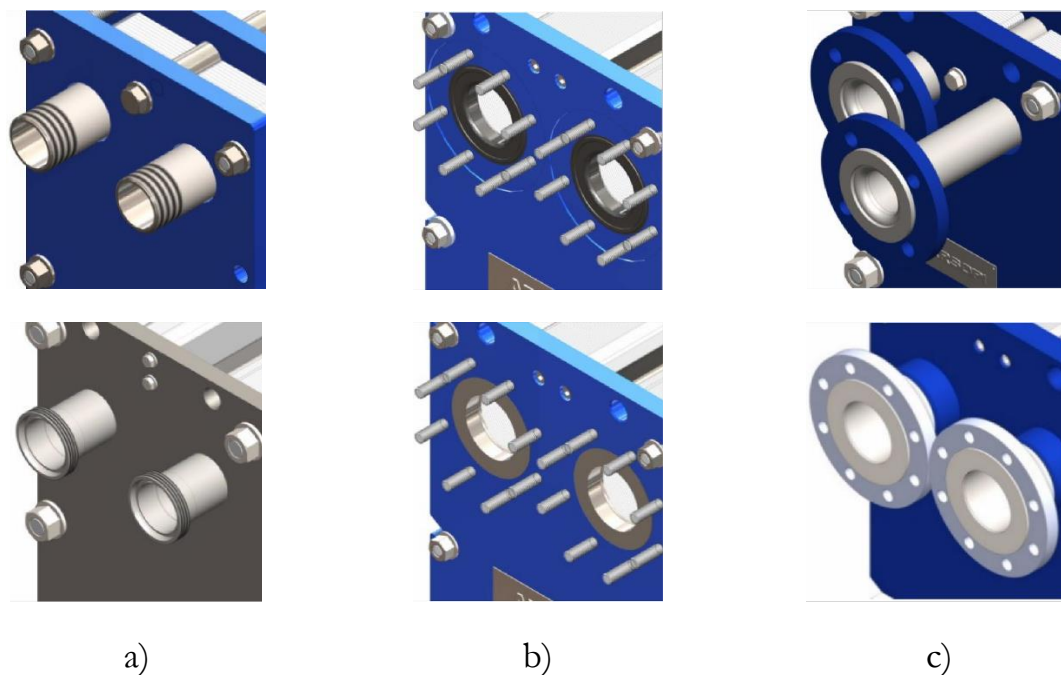


Figura 3.9 - Tipo de ligações: a) ligações roscadas b) ligações com parafusos c) ligações flangeadas

Fonte: retirado do website da Arsopi-Thermal

A placa móvel permite movimentar para ter acesso às PTC para a manutenção e quando apertada com os tirantes de aperto permite diminuir a cota entre a placa fixa e a móvel para a vedação das juntas, conforme estas vão cedendo com o trabalho. A placa fixa, normalmente, incorpora pés de fixação para a sua ancoragem ao solo.

3.2.4 Blocos intermédios

Os blocos intermédios, Figura 3.11, abrem a possibilidade da troca térmica de mais de dois fluidos e diferentes programas térmicos dentro do mesmo permutador. Os blocos permitem que um permutador faça o serviço de vários permutadores, isto é, torna o PHE ainda mais compacto e menor custo em comparação a vários permutadores para realizar o mesmo objetivo de um permutador com blocos.

Por exemplo, um pasteurizador tem pelo menos três etapas distintas: aquecimento; recuperação e arrefecimento. Devido as três etapas, o equipamento necessita de, pelo menos, três fluidos de trabalho: fluido de aquecimento; fluido de arrefecimento e o produto a pasteurizar. São necessárias duas seções para o aquecimento e arrefecimento e mais uma seção para a recuperação do calor do produto já aquecido. Num pasteurizador é fundamental a incorporação dos blocos, pois sem eles são necessários três permutadores para realizar as três etapas necessárias.

Na Figura 3.10 é possível observar um esquema de um pasteurizador com três secções.

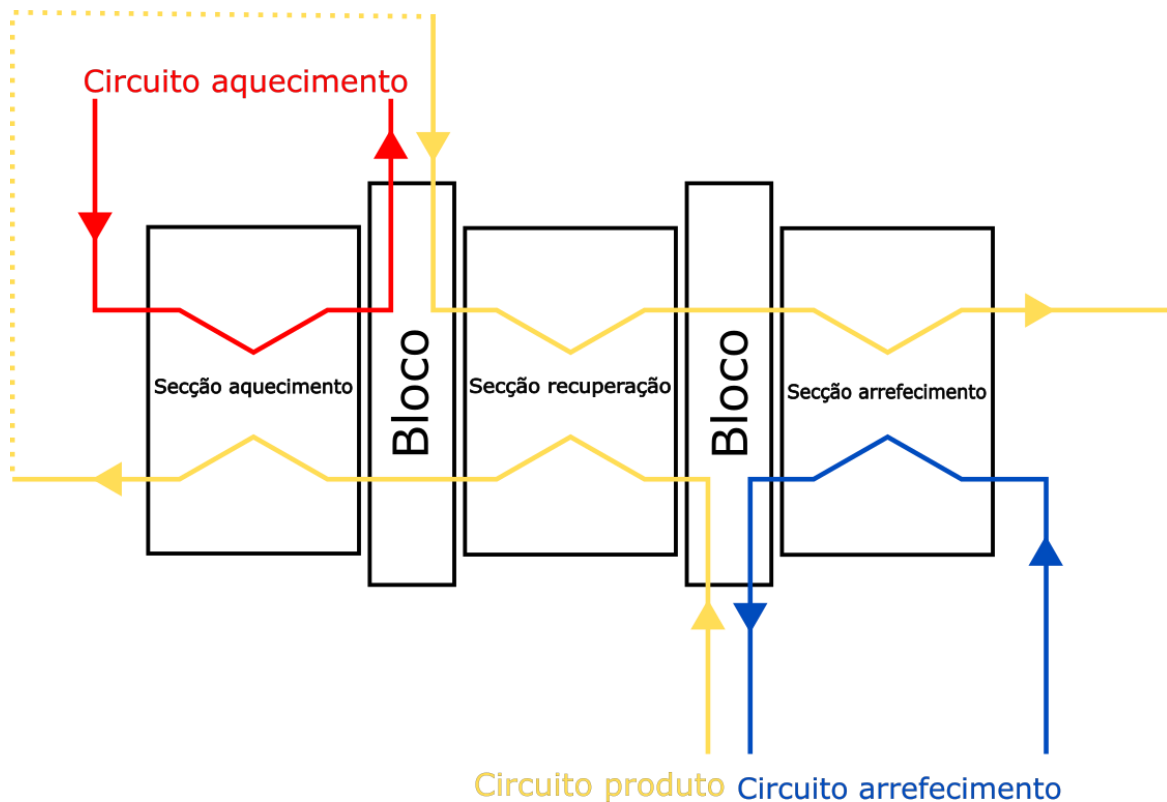


Figura 3.10 - Esquema genérico de pasteurização

Os blocos são muito utilizados no setor alimentar por isso são feitos de aço inoxidável.

Em alguns modelos só é possível incorporar cantos simples, ou seja, pode levar até quatro entradas/saídas por bloco enquanto em outros modelos já suportam os cantos duplos e por isso possibilitam até oito entradas/saídas por bloco, permitindo acrescentar mais modularidade aos PHE.

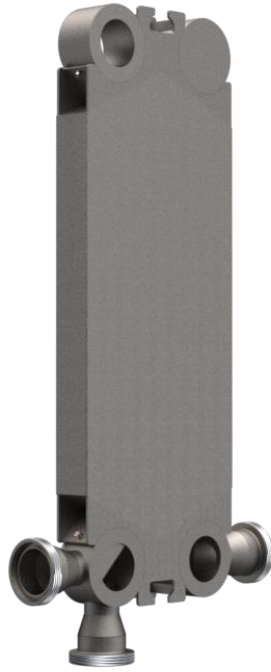


Figura 3.11 - Bloco intermedio

Inicialmente, o bloco intermédio era maquinado a partir de uma peça maciça de metal, o que tornava este componente dispendioso e com uma massa elevada. Como medida para reduzir a massa e a matéria-prima necessária para a produção do componente, estes blocos atualmente são feitos com construção soldada, tendo no seu interior uma estrutura em “grelha cruzada”, Figura 3.12.

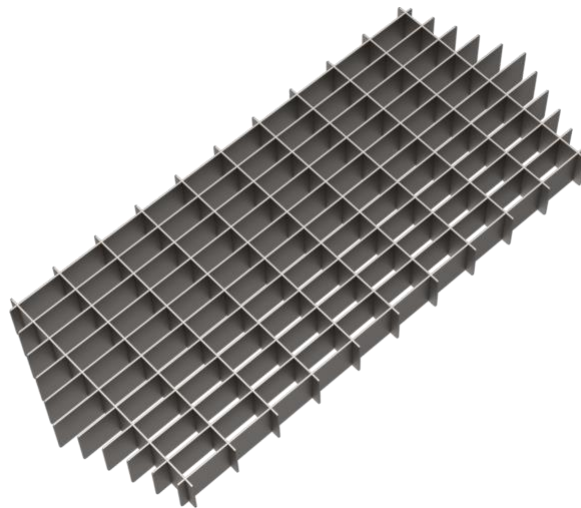


Figura 3.12 - Estrutura interior do bloco

Canto do bloco, o componente onde liga a tubagem nos blocos, pode ser simples ou duplo conforme a necessidade do serviço.

O canto simples e o duplo, tem, uma e duas entradas/saídas, respetivamente, do permutador por posição do furo na placa de transferência de calor.

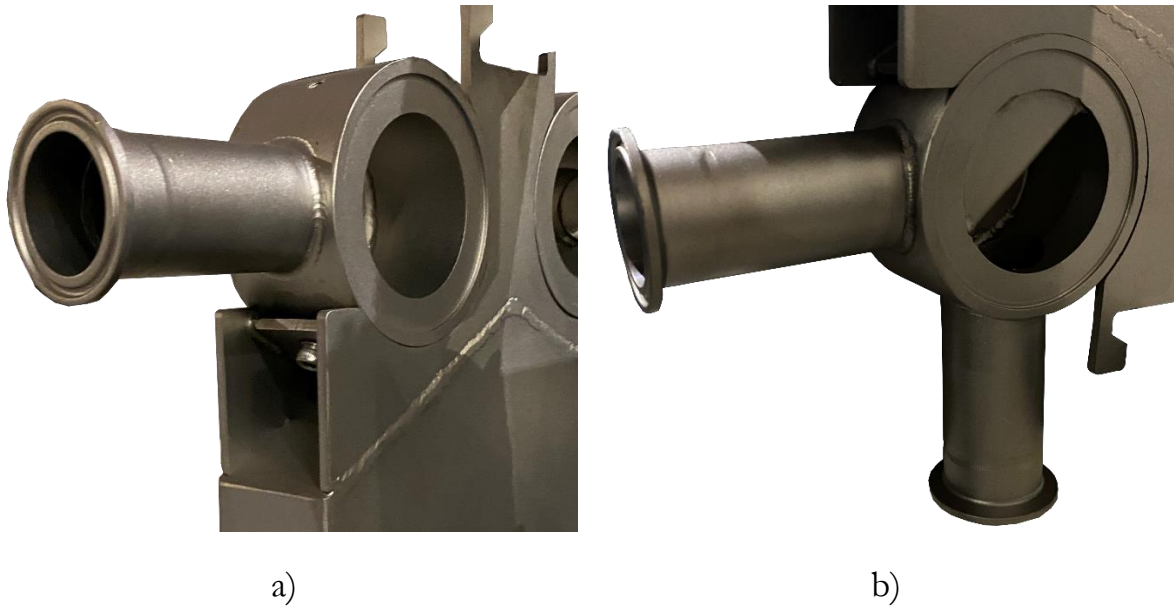


Figura 3.13 - Canto do bloco intermediário: a) canto simples; b) canto duplo

3.2.5 Tirantes de aperto

A função dos tirantes de aperto é comprimir as PTC e as juntas entre as placas de aperto para garantir a estanquicidade do PHE. Os tirantes de aperto, Figura 3.14, são constituídos por varão roscado, porcas e anilhas. Todos os tirantes presentes num permutador têm igual cota de aperto de forma as duas placas de aperto se mantenham paralelas, caso contrário podem ocorrer fugas entre as placas.



Figura 3.14 - Tirantes de aperto

A métrica para qual os tirantes de aperto são dimensionados depende das condições de projeto (pressão e temperatura de projeto). O material usado na sua produção poderá ser aço inoxidável ou aço carbono com vários tipos de acabamentos (zincado, Teflon e Xylan).

Nos permutadores de maiores dimensões é necessário comprimir o conjunto de PTC e juntas com expansores. Esta compressão permite que os tirantes só sejam

apertados na cota final de aperto entre a placa fixa e móvel, como é visível na Figura 3.15.



Figura 3.15 - Aperto do permutador com expansores

Durante o processo de aperto, os expansores são várias vezes ajustados até atingir a cota final devido a uma só expansão não ser o suficiente para atingir a cota final. Este processo baseia-se na expansão e compressão dos dispositivos, Figura 3.16, com o ajuste das porcas para acompanhar o aperto nos quatro principais tirantes sendo os restantes apertados na cota final.



a)

b)

Figura 3.16 – Aperto do permutador com expansores: a) antes de expandir; b) depois de expandir

3.2.6 Tirantes de suporte

A função destes componentes é alinhar e suportar a massa do conjunto das PTC, juntas e placa móvel. Quando o PHE está em funcionamento, os tirantes de suporte também sustentam a massa do fluido contido nele.

Cada permutador tem um tirante de suporte superior, Figura 3.17, e um tirante de suporte inferior sendo uma peça fundamental para a sua integridade estrutural. Estes dois componentes são, normalmente, dois perfis que são montados na placa de aperto fixa e no suporte posterior quando este é necessário no PHE.

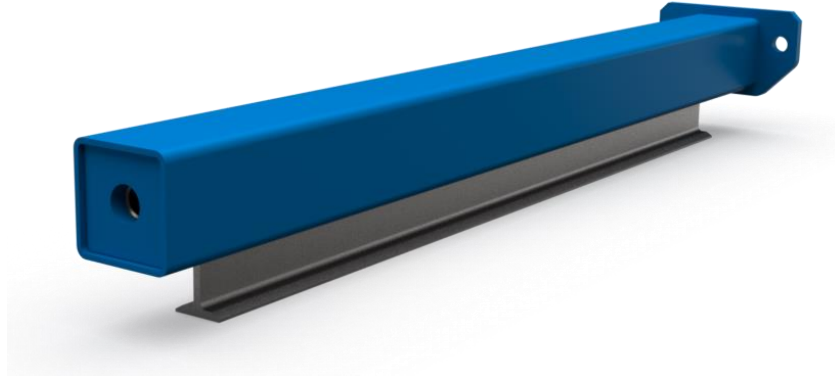


Figura 3.17 - Tirante de suporte superior

3.2.7 Suporte posterior

Este componente, Figura 3.18, não está sempre presente nos PHE sendo só necessário nos permutadores de maiores dimensões. Faz parte da estrutura e permite ancorar ao solo e apoiar os tirantes de suporte. É construído do mesmo material das placas de aperto. Fica localizado no PHE, na extremidade oposta da placa de aperto fixa.

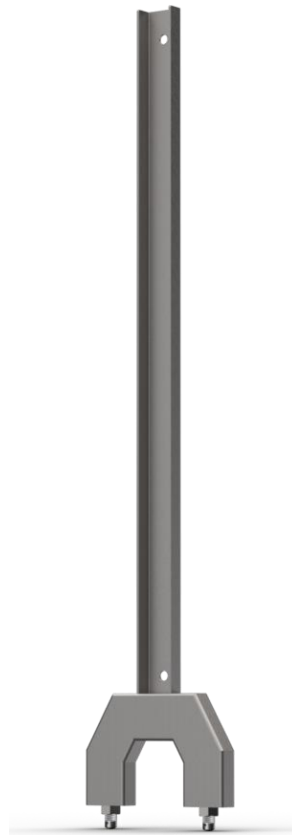


Figura 3.18 - Suporte posterior

3.3 Configuração do escoamento dos fluidos

Existem dois tipos de escoamentos, paralelo ou contracorrente. Para os permutadores com um único passe, decide-se qual o melhor escoamento para os fluidos e para o programa térmico que o permutador vai realizar.

O escoamento em paralelo consiste no fluxo dos dois fluidos no mesmo sentido ao longo da troca do calor no permutador. O escoamento dos fluidos em sentidos contrários chama-se escoamento em contra-corrente. Na Figura 3.19 exemplifica graficamente os dois escoamentos.

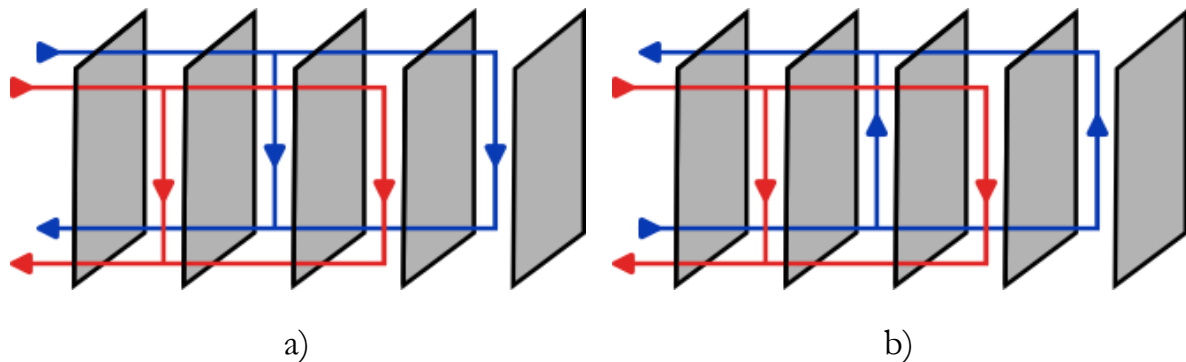


Figura 3.19 - Escoamentos simples: a) paralelo; b) contra-corrente

O escoamento em contra-corrente é normalmente preferencial devido a uma maior eficiência térmica e com isso permite atingir uma maior troca térmica. Na Figura 3.20 é possível observar os perfis de temperatura dos dois escoamentos diferentes.

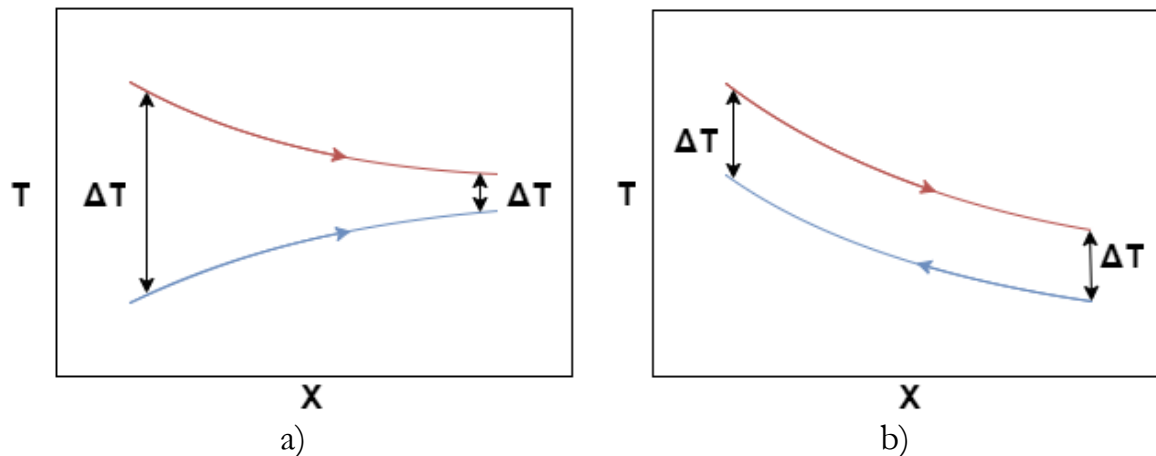


Figura 3.20 - Perfil de temperatura: a) escoamento em paralelo; b) escoamento em contra-corrente

Existem situações que apenas o escoamento em paralelo é permitido tal como na troca de calor de dois fluidos com alta viscosidade em que os dois fluidos têm de entrar pela parte inferior do equipamento para garantir que não acumula ar no interior no permutador.

Para os permutadores com mais que um passe é possível uma combinação dos dois tipos de escoamentos tirando partido das vantagens dos dois. Com a combinação das diferentes furações nas PTC é possível criar passes e por isso aumentar a amplitude de configuração deste tipo de permutador. Na Figura 3.21 pode-se ver um caso multipasse.

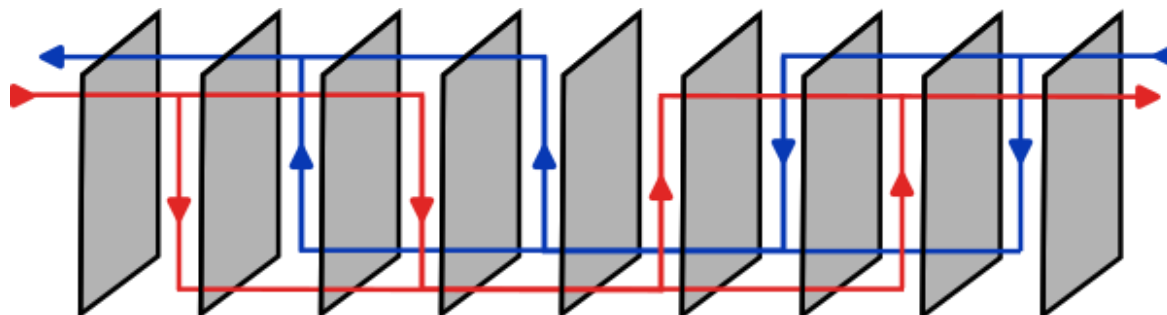


Figura 3.21 - Escoamento multipasse

Múltiplos passes permitem que os fluidos realizem múltiplas trocas de calor dentro do permutador levando os fluidos a trocar calor durante mais tempo. Os diferentes fluidos no permutador não necessitam de possuir o mesmo número de passes. O multipasse tem maior queda de pressão em comparação a um único passe, devido a maior distância percorrida, o que torna mais difícil cumprir com o requisito de queda de pressão máxima do cliente.

3.4 Ensaio hidráulico

Todos os permutadores que a Arsopi-Thermal fabrica são submetidos ao ensaio hidráulico como forma de garantir a qualidade dos mesmos. O teste é realizado pela mini-fábrica da montagem, depois da montagem do PHE e antes do embalamento para ser enviado para o cliente. Esse ensaio é efetuado à pressão de teste, que é calculado partindo da pressão de cálculo mais uma percentagem de segurança, que varia conforme a aplicação e as características do permutador. Na Figura 3.22 é possível observar, parcialmente, uma folha de dados técnicos de um PHE com dados relacionados com a pressão de cálculo e pressão de teste.

Secções	I		II		III		
Lado	Quente	Frio	Quente	Frio	Quente	Frio	
Código de Construção	ASME + PED						
Classificação PED	SEP						
Grupo Fluido (PED)	2	2	2	2	2	2	
Pressão de Cálculo	bar.g	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	
Pressão de Teste	bar.g	24.3		24.3		24.3	
Temperatura de Cálculo	°C	90	90	90	90	90	

Figura 3.22 – Excerto de uma folha de dados técnicos

O ensaio hidráulico é realizado durante um intervalo de tempo, para cada circuito individualmente, sendo possível detetar eventuais fugas para o exterior do PHE, para

outros circuitos do PHE e PTC fragilizadas. Durante o ensaio, a pressão dentro do PHE é possível visualizar numa ligação do circuito por um manómetro instalado, enquanto na outra ligação do circuito, um equipamento inicialmente enche o circuito com água e depois aumenta a pressão até ao valor da pressão de teste e mantém a pressão durante todo o período de teste.

A ligação de entrada de água deve ser sempre efetuada na parte inferior do PHE de forma a ser possível purgar todo o ar que se encontrava dentro do circuito. Na Figura 3.23 observa-se um PHE num teste hidráulico, com um circuito de água já submetido a pressão de teste durante um intervalo de tempo. O PHE da Figura 3.23 não corresponde ao excerto da folha de dados técnicos, acima apresentada, na Figura 3.22.

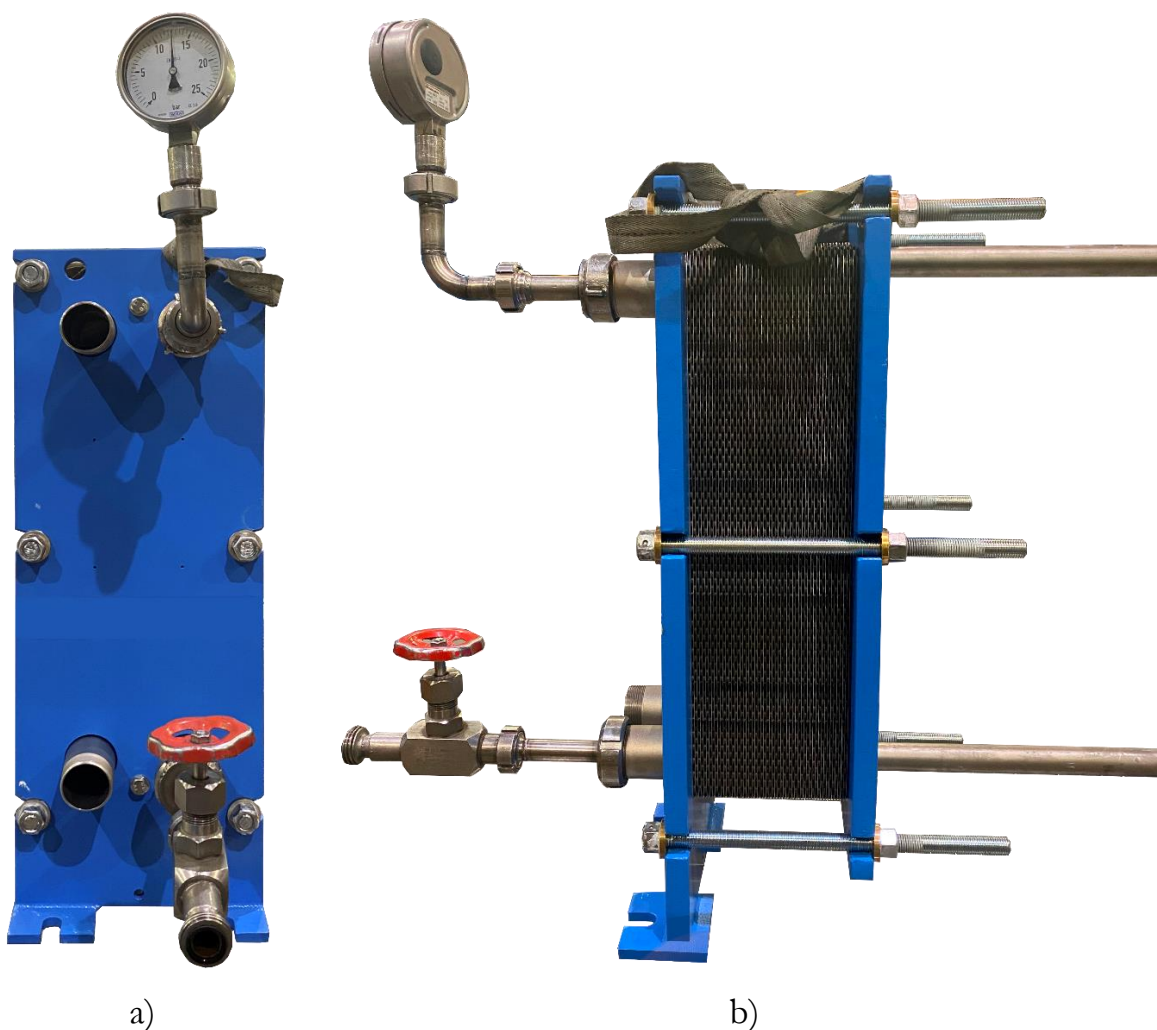


Figura 3.23 - PHE a realizar teste hidráulico: a) vista frontal b) vista lateral

4 ESTUDO DE SISTEMAS DE RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA BASEADOS EM PHE

Devido à maior importância que a conservação de energia tem nos dias correntes, a indústria tem apostado no incremento da eficiência energética dos seus equipamentos e processos. Como tal, a Arsopi-Thermal tem fornecido aos seus clientes soluções que permitam a tão desejada poupança energética. Os casos apresentados, mais direcionados para a indústria alimentar, exemplificam soluções com resultados comprovados.

4.1 Caso I: Ajuste do dimensionamento da recuperação dos permutadores

Cenário:

Situação mais comum: pasteurizadores típicos com três secções (aquecimento, recuperação e arrefecimento).

Objetivo:

Aumento da eficiência energética para os PHE na secção de recuperação de calor, através da modificação na área de transferência disponível.

A modificação do PHE tem como objetivo aumentar a permuta de calor, entre o produto que já passou pela secção aquecimento e que agora segue para a secção de arrefecimento, e o produto que entrou no PHE, resultando num pré-aquecimento. O incremento da transferência de calor leva a um aumento da temperatura do produto que sai da secção de recuperação de calor, em direção à secção de aquecimento, diminuindo a potência necessária para o aquecimento do produto até temperatura alvo.

Contexto / Alterações:

Normalmente, esta secção recupera cerca de 87% (nos casos mais antigos) a 90% (nos casos mais recentes) do calor do produto já aquecido. Esta percentagem é pré-definida, pois procura ser a percentagem ideal para uma orçamentação mais apelativa ao cliente na aquisição do equipamento. (A secção de recuperação pode ser aumentada até 95% com uma boa relação custo/benefício.) Embora cada caso seja um caso, o aumento da secção de recuperação conduz a uma diminuição da potência necessária nas secções de aquecimento e arrefecimento, cerca de 50% e 85% respetivamente.

Este aumento da área de transferência é efetuado através do incremento do número de placas na secção de recuperação (que por sua vez leva à diminuição da área de transferência de calor nas secções de arrefecimento e aquecimento). Isto acontece devido ao ajuste que os diferentes programas térmicos experimentam, uma vez que a nova etapa de recuperação irá condicionar as temperaturas disponíveis às outras

secções do equipamento. De um modo geral, o aumento do número de placas na secção de recuperação é consideravelmente superior à diminuição do número de placas nas secções de aquecimento e arrefecimento, causando um aumento do número total de placas do permutador.

Devido ao aumento do número de placas, o comprimento do PHE vai aumentar, levando muitas vezes a modificações nas ligações (tubagens) do mesmo. Quando não é possível o aumento do número de placas do PHE devido às condições que circundam o equipamento, tem de ser alterado o modelo do PHE com o objetivo de cumprir a área de transferência de calor necessária para atingir a nova potência da secção de recuperação energética (desde que seja possível a adaptação do novo permutador no local da instalação).

Na prática, pode haver várias secções de recuperação de calor no mesmo permutador devido a processos que exijam temperaturas intermédias dentro do intervalo de temperaturas da recuperação de calor do produto, tais como desnatadores e homogeneizadores, mas não há ganhos nem perdas térmicas significativas nestes processos logo trata-se como existisse só uma secção de recuperação.

Para calcular a recuperação da secção é usada a equação (4.1).

$$R = \left[1 - \left(\frac{T_p - T_{eaq}}{T_p - T_i} \right) \right] \times 100\% \quad (4.1)$$

O produto entra no PHE com a temperatura inicial, T_i , sofre o pré-aquecimento atingido a temperatura de entrada na secção de aquecimento, T_{eaq} , onde vai atingir a temperatura de pasteurização, T_p . Após o tempo necessário para a pasteurização, o produto vai ser arrefecido na secção de recuperação até alcançar a temperatura de entrada na secção de arrefecimento, T_{ear} , onde o produto vai diminuir a temperatura até a sua temperatura final, T_f .

Na Figura 4.1 é possível ver os circuitos envolvidos no processo de pasteurização: circuito com utilidade quente (com a cor vermelha), circuito com utilidade fria (com a cor azul) e circuito com o produto (com a cor amarela).

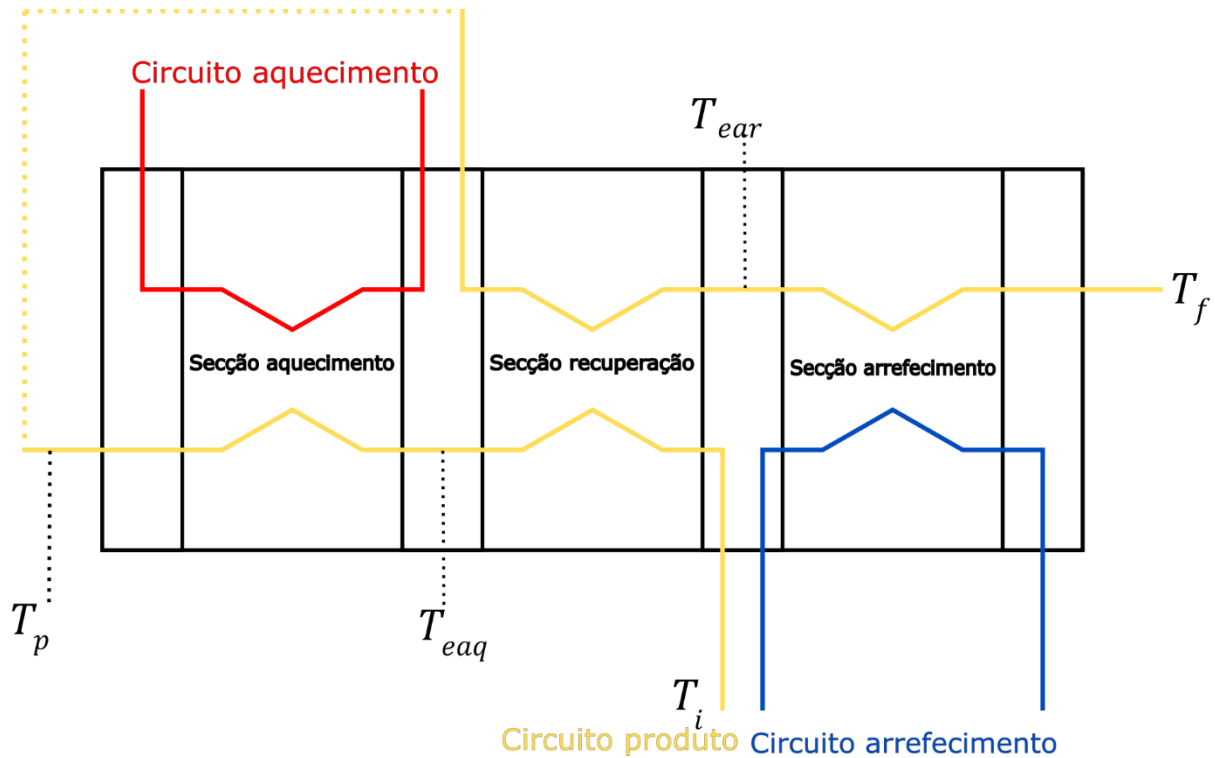


Figura 4.1 – Circuitos envolvidos no pasteurizador

Exemplo prático Arsopi-Thermal:

CH-UX40 (pasteurizador adaptado por aumento da secção de recuperação)

Situação antes da alteração:

$$T_i = 1^\circ\text{C} \rightarrow T_{eaq} = 65^\circ\text{C} \rightarrow T_p = 72^\circ\text{C} \rightarrow T_{ear} = 8^\circ\text{C} \rightarrow T_f = 4^\circ\text{C}$$

Situação depois da alteração:

$$T_i = 1^\circ\text{C} \rightarrow T_{eaq} = 68.45^\circ\text{C} \rightarrow T_p = 72^\circ\text{C} \rightarrow T_{ear} = 4.55^\circ\text{C} \rightarrow T_f = 4^\circ\text{C}$$

T_{eaq} aumenta e T_p constante logo $P_{aquecimento}$ diminui

T_{ear} diminui e T_f constante logo $P_{arrefecimento}$ diminui

Na Tabela 4.1 encontram-se os cálculos dos consumos de energia do PHE tal como a diferença com a modificação da recuperação energética.

Permutadores de calor de placas

Tabela 4.1 - Redução do consumo de energia no caso I

		Equipamento atual	Novo equipamento	
		CH40-UP2C-169	CH40-UP2C-359	
Modelo				
Potência de aquecimento (kW)		225.1	110.77	
Potência de arrefecimento (kW)		128.6	17.16	
Recuperação térmica		90%	95%	
Dias de trabalho / ano		300	Preço combustível (€/kWh)	
Horas de trabalho / dia		18	0.10 €	
			Preço eletricidade (€/kWh)	
<i>payback</i> ANOS	0.96		0.02 €	

		potência (kW)	kg vapor	Custo anual	Redução
vapor	Atual	225.1	387.17	121 554.00 €	
	Novo	110.77	190.52	59 815.80 €	51%

		potência (kW)	kWh	Custo anual	Redução
água gelada	Atual	128.6	36.87	3 981.46 €	
	Novo	17.16	4.92	531.27 €	87%

Na Figura 4.2 e Figura 4.3 são representados dois excertos da *datasheet* correspondente, antes e depois da alteração.

PROGRAMA TÉRMICO								
SEC.	PRODUTO	CAUDAL	POS	TEMPERATURA	POS	TEMPERATURA	PERDA CARGA	POTÊNCIA
1	ÁGUA QUENTE	35 000 L/h	S2	75,00 °C	S4	69,34 °C	0,43 bar	225,1 kW
	CERVEJA	28 000 L/h	M13H	65,00 °C	S1	72,00 °C	0,34 bar	
2	CERVEJA	28 000 L/h	M14H	72,00 °C	-	8,00 °C	1,24 bar	2058,4 kW
	CERVEJA	28 000 L/h	M23H	1,00 °C	M13V	65,00 °C	1,28 bar	
3	CERVEJA	28 000 L/h	-	8,00 °C	E4	4,00 °C	1,64 bar	128,6 kW
	ÁGUA GELADA	16 000 L/h	E3	-4,00 °C	E1	4,30 °C	0,10 bar	

Figura 4.2 – Excerto da *datasheet* antes do aumento da recuperação energética

Secções	I				II				III			
	Quente		Frio		Quente		Frio		Quente		Frio	
Lado	Água		Cerveja		Cerveja		Cerveja		Cerveja		Glicol	
Fluido	Água		Cerveja		Cerveja		Cerveja		Cerveja		Glicol	
Caudal	35.00		28.00		28.00		28.00		28.00		1.90	
Tipo	In - Entrada / Out - Saída		In Out		In Out		In Out		In Out		In Out	
Orientação	S2	S4	M13H	S1	M14H	M24	M23H	M13V	M24	E4	E3	E1
Temperatura	75.00	72.22	68.45	72.00	72.00	4.55	1.00	68.45	4.55	4.00	-4.00	3.98
Perda de Carga	0.320		0.220		1.300		1.310		1.620		0.010	
Calor Trocado	110.77				2104.62				17.16			

Figura 4.3 – Excerto da *datasheet* depois do aumento da recuperação energética

4.2 Caso II: Inclusão de etapas suplementares de recuperação

4.2.1 Caso II (a) Aproveitamento de outros efluentes disponíveis

Cenário:

Situação mais comum: pasteurizadores com duas secções sem necessidade de arrefecimento adicional. (aquecimento e recuperação).

Objetivo:

Diminuição da potência térmica necessária para o processo, aumentando a temperatura de entrada do produto recuperando calor disponível de outros efluentes da instalação, inicialmente desperdiçados, promovendo o aumento da eficiência energética do permutador.

Esta recuperação de calor pode ser efetuada com os efluentes diretos ou armazenando os efluentes em tanques para funcionar como baterias de energia térmica.

Contexto / Alterações:

Esta solução é muito aplicada à indústria dos lacticínios e de bebidas em processos em que o arrefecimento provocado pela recuperação de calor é o suficiente para atingir a temperatura pretendida para o produto no final do processo.

O objetivo desta técnica é aumentar a temperatura da entrada do produto no PHE efetuando permuta de calor com, por exemplo, efluentes com calor disponível e sem utilidade prévia, usados assim nesta troca térmica que faz com que a potência necessária para o aquecimento seja menor.

Nesta técnica, o número de placas na secção de recuperação aumenta devido à diminuição do ΔT_{in} entre as correntes fria e quente em jogo, ao mesmo tempo que se pretende manter a temperatura de saída do PHE. Esta técnica só é possível devido a temperatura de saída do produto no pasteurizador ser superior à temperatura de entrada do produto depois de pré-aquecido caso contrário não seria possível o arrefecimento do produto até a temperatura pretendida.

Será necessário instalar pelo menos mais um PHE para efetuar o pré-aquecimento do produto antes da sua entrada no permutador da pasteurização, podendo esse permutador ser multi-secção se existir mais que um efluente onde se pretende retirar o calor ou os efluentes não estiverem sempre disponíveis, não sendo necessário em todas as secções estar a ocorrer a permuta de calor. No caso dos efluentes não estarem sempre disponíveis, existe também a possibilidade de armazenar os subprodutos em tanques de forma a funcionarem como depósitos de inercia, compensando quebras no caudal do efluente, resultando num caudal constante durante um maior intervalo de tempo onde possa ser recuperado o seu calor.

Com a entrada do produto a maior temperatura no permutador, isso conduz a que o produto que entra na secção de aquecimento tenha uma temperatura mais elevada,

sendo necessário menor potência para aquecer o produto até temperatura de pasteurização, levando a uma poupança da utilidade quente.

Como nestes casos a temperatura da saída do produto no PHE tem de se manter constante, não é possível aumentar a recuperação do calor do produto a ser arrefecido, o que provocaria uma temperatura da saída do produto inferior à desejada daí optar-se por uma maior temperatura de entrada.

Uma grande desvantagem desta técnica, é depender da localização dos subprodutos onde vai ser aproveitado o calor, pois estes podem não se encontrar perto do permutador de pasteurização (será necessário a construção de tubagens longas e pouco apelativas para o cliente).

Outra desvantagem é que obriga à instalação de válvulas, bombas e todos os acessórios necessários para além do permutador novo, pois é necessário fazer circular o fluido de onde vai ser retirado o calor para o permutador de pré-aquecimento.

Mesmo considerando estas desvantagens, habitualmente, esta alteração tem um *payback* relativamente curto, compensando largamente o investimento inicial.

De uma forma geral, esta técnica aumenta o rendimento do processo de cerca de 90% para 95%.

O produto entra no primeiro PHE com a temperatura inicial, T_{ep1} , sofre o pré-aquecimento seguindo para o segundo PHE, entrando na secção de recuperação com a temperatura, T_{ep2} . Após a secção de recuperação, o produto encontra-se com a temperatura de entrada na secção de aquecimento, T_{eaq} , onde vai atingir a temperatura de pasteurização, T_p . Após o tempo necessário para a pasteurização, o produto vai ser arrefecido na secção de recuperação até alcançar a temperatura final, T_f .

Na Figura 4.4 é possível ver os circuitos envolvidos no processo de pasteurização: circuito com utilidade quente (assinalado com a cor vermelha), circuitos com utilidades para reaproveitamento (assinalado com a cor laranja) e circuito com o produto (assinalado com a cor amarela).

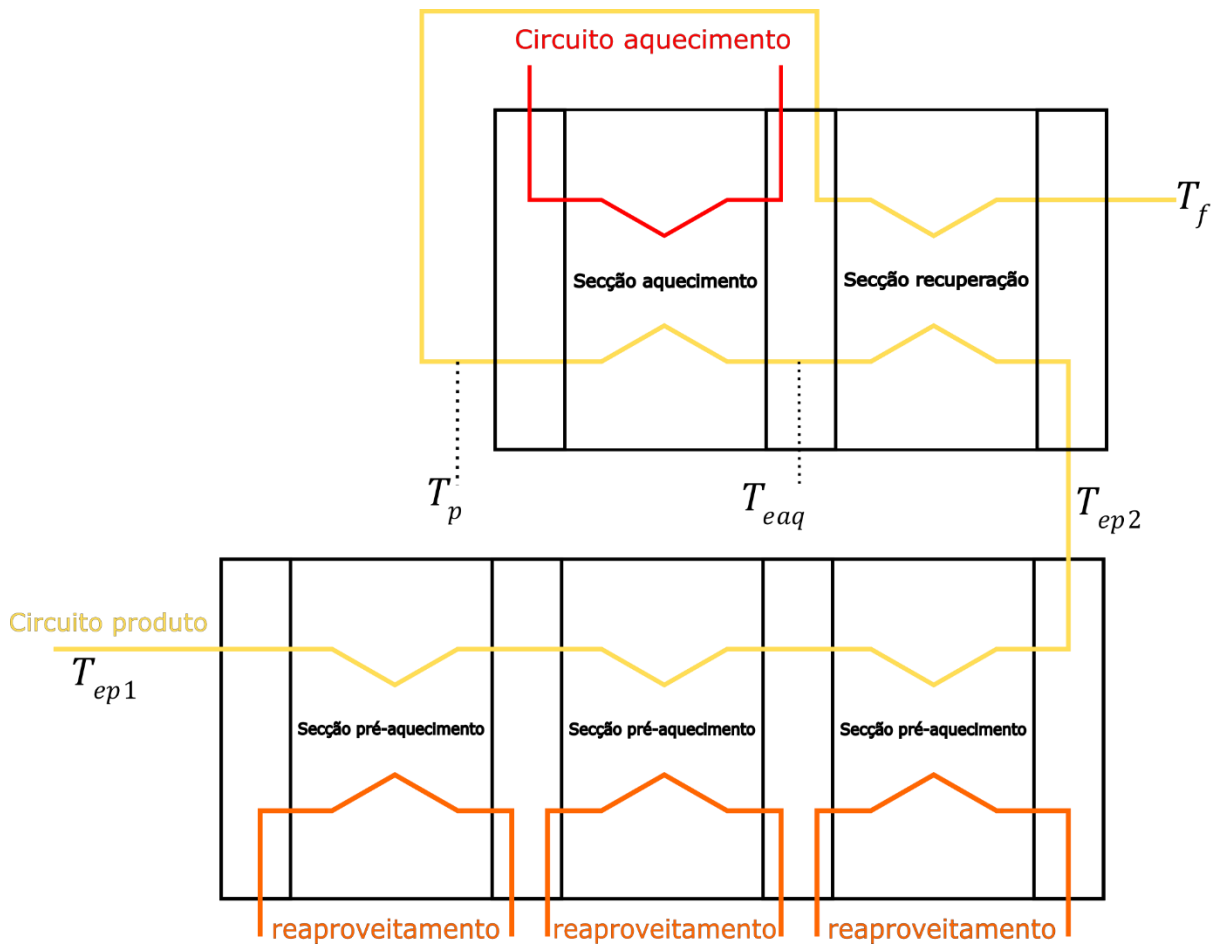


Figura 4.4 – Circuito do pasteurizador sem arrefecimento adicional

Exemplo prático Arsopi-Thermal:

CH-UX20 (pasteurizador adaptado recentemente por aumento da secção de recuperação,) + CH-UX10 (nova unidade para pré-aquecimento).

Situação antes da alteração:

$$T_{ep2} = 5^{\circ}\text{C} \rightarrow T_{eaq} = 49^{\circ}\text{C} \rightarrow T_p = 77^{\circ}\text{C} \rightarrow T_f = 33^{\circ}\text{C}$$

Situação depois da alteração:

$$T_{ep1} = 5^{\circ}\text{C} \rightarrow T_{ep2} = 14.7^{\circ}\text{C} \rightarrow T_{eaq} = 58.7^{\circ}\text{C} \rightarrow T_p = 77^{\circ}\text{C} \rightarrow T_f = 33^{\circ}\text{C}$$

T_{ep2} aumenta que provoca T_{eaq} aumenta e T_p constante logo $P_{aquecimento}$ diminui

Na Tabela 4.2 encontram-se os cálculos dos consumos de energia do PHE tal como a diferença com a modificação da recuperação energética.

Permutadores de calor de placas

Tabela 4.2 - Redução do consumo de energia no caso II (a)

		Equipamento atual		Novo equipamento	
Modelo		CH20-MP1C-136		CH20-MP1C-170	
Potência de aquecimento (kW)		412.34		281.71	
Potência de arrefecimento (kW)		32.97		18.37	
Recuperação térmica		90%		95%	
Dias de trabalho / ano		365		Preço combustível (€/m ³)	
Horas de trabalho / dia		5.5		0.39 €	
<i>payback</i> ANOS		1.03		Preço eletricidade (€/kWh)	
				0.09 €	
		potência (kW)	kg vapor	Custo anual	Redução
vapor	Atual	412.34	709.22	45 392.02 €	
	Novo	281.71	484.54	31 011.75 €	32%
		potência (kW)	kWh	Custo anual	Redução
água gelada	Atual	32.97	9.45	1 707.63 €	
	Novo	18.37	5.27	951.45 €	44%

Nota: arrefecimento não pertence ao processo de pasteurização, mas é necessário noutra fase da produção, para um efluente que é utilizado para pré-aquecer o produto, reduzindo a potência de arrefecimento necessária para esse efluente.

Na Figura 4.5, Figura 4.6 e Figura 4.7 são representados dois excertos da *datasheet* correspondente antes e depois da alteração e um excerto da *datasheet* do permutador de pré-aquecimento.

Secções	I				II				III					
Lado	Quente		Frio		Quente		Frio		Quente		Frio			
Fluido	Vapor		Água REC.		Água REC.		Leite		Leite		Leite			
Caudal	Kg/h / m ³ /h		24.00		24.00		14.00		14.00		8.20 (**)			
Tipo	In – Entrada / Out – Saída		In	Out	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out		
Orientação	S2	S4	S3	M23	M23H	M24H	M22V	M22H	M23V	M23V	M23V	M21H		
Temperatura	°C		120.0	120.0	63.00	79.00	79.00	63.22	49.00	77.00	77.00	33.00	5.00	
Perda de Carga	bar		0.194		0.410		0.180		0.070		0.040		0.020	
Calor Trocado	kW		436.96		431.04		431.04		677.34		677.34		677.34	

Figura 4.5 - Excerto da *datasheet* do pasteurizador sem pré-aquecimento

Secções	I				II				III					
Lado	Quente		Frio		Quente		Frio		Quente		Frio			
Fluido	Vapor		Água Rec.		Água Rec.		Leite		Leite		Leite			
Caudal	Kgh / m ³ /h		481		24.00		24.00		14.00		14.00			
Tipo	In – Entrada / Out – Saída		In	Out	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out		
Orientação	S2	S4	S3	S3	M23H	M24H	M22V	M22H	M23V	M21H	M21H	M21H		
Temperatura	°C		120.0	120.0	68.67	79.00	79.00	68.67	58.70	77.00	77.00	33.00	14.70	
Perda de Carga	bar		0.084		0.410		0.180		0.070		0.040		0.030	
Calor Trocado	kW		281.77				281.71				677.34			

Figura 4.6 - Excerto da *datasheet* do pasteurizador com pré-aquecimento

Secções	I				II				III				IV					
Lado	Quente		Frio		Quente		Frio		Quente		Frio		Quente		Frio			
Fluido	Água_rec		Leite		Soro 20%		Água_rec		Permeado		Água_rec		Água tanque		Água_rec			
Caudal	m ³ /h		13.00		14.00		3.00		13.00		3.00		13.00		1.72			
Tipo	In – Entrada / Out – Saída		In	Out	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out		
Orientação	S2	M14	S3	S1	M21H	M23H	M14	M22	M23V	M21V	M22	M34	E1	E3	M34	E2		
Temperatura	°C		20.00	10.12	5.00	14.70	31.00	10.57	10.12	14.80	31.00	14.93	14.80	18.50	30.00	18.64	18.50	
Perda de Carga	bar		0.288		0.362		0.027		0.290		0.027		0.446		0.006		0.257	
Calor Trocado	kW		149.36				70.82				55.90				22.64			

Figura 4.7 - Excerto do programa térmico do pré-aquecimento

4.2.2 Caso II (b) Recuperação entre operações descontínuas

Cenário:

Situação mais comum: Aproveitamento de calor residual entre produções descontínuas (também chamadas *batch*)

Objetivo:

Diminuição do consumo de utilidades pelo aproveitamento, entre produções consecutivas, do calor existente de produções anteriores, que anteriormente seriam desperdiçadas.

Esta técnica ainda causa a diminuição da potência necessária para o arrefecimento do fluido quente.

Contexto / Alterações:

Este é um caso mais específico e pouco utilizado devido a ter uma necessidade de produção não contínua, mas com regularidade. Aplica-se, normalmente, à indústria cervejeira de média dimensão (pouco comum em Portugal). Esta técnica consiste em pré-aquecer água da rede com o arrefecimento do mosto da cerveja para ser armazenado sendo que a água pré-aquecida serve para a produção seguinte.

Por um lado, permite que a temperatura da água a ser adicionada no tanque para a preparação do mosto da cerveja seja mais elevada e por sua vez, menor potência será necessário para atingir a temperatura desejada. Por exemplo, a temperatura da água a ser adicionada pode passar de 15°C (temperatura da água de rede) para 90°C (temperatura da água pré-aquecida com o arrefecimento do mosto).

Por outro lado, o mosto da cerveja já preparado tem de ser arrefecido para ser posteriormente armazenado e esse trabalho anteriormente realizado somente por

uma unidade de arrefecimento como um *chiller*, passará a ser maioritariamente realizado pela água da rede, permitindo uma redução da potência necessária para arrefecimento.

Um grande inconveniente desta técnica, por norma, é que a água da rede necessita ser armazenada para ser utilizada posteriormente para a produção seguinte. Este armazenamento causa perda de energia térmica da água armazenada, não deve ser por isso armazenada durante um longo intervalo de tempo. Com a queda da temperatura da água armazenada, diminui o rendimento do processo, isto é o rendimento do processo está diretamente relacionado com o tempo entre produções.

Para as microcervejeiras, habitualmente, esta técnica não é viável devido aos períodos entre produções causarem grandes quedas de temperatura na água armazenada para posteriormente ser produzido o mosto, sendo necessário uma potência elevada para a água atingir a temperatura pretendida para a próxima produção de mosto.

Esta técnica exige a modificação do PHE para adicionar uma secção para a permuta do mosto com água da rede e a correção da secção de arrefecimento para a nova potência de arrefecimento. Para além da modificação do PHE, é necessário adicionar um tanque e respetivas tubagens, bombas e válvulas, para armazenar a água aquecida com o volume suficiente para uma nova produção de mosto de cerveja.

A água do abastecimento, inicialmente, encontra-se na temperatura, T_{ia} , passa pela secção de recuperação, onde vai ser pré-aquecida até a temperatura de armazenamento, T_{aa} . Para a produção do mosto, a água vai ser aquecida até a temperatura T_{pm} . Após as etapas necessárias para a produção do mosto, é arrefecido, primeiro pela secção de recuperação até a temperatura T_r e depois pela secção de arrefecimento até a temperatura de arrefecimento T_{am} .

Na Figura 4.8 é possível observar os circuitos necessários para o processo de produção do mosto enquanto na Figura 4.9 verifica-se as alterações dos circuitos no processo para aumentar a recuperação energética. Os circuitos na cor amarelo representam os circuitos do mosto, na cor azul, circuito da água da rede, na cor laranja, a água da rede já pré-aquecida.

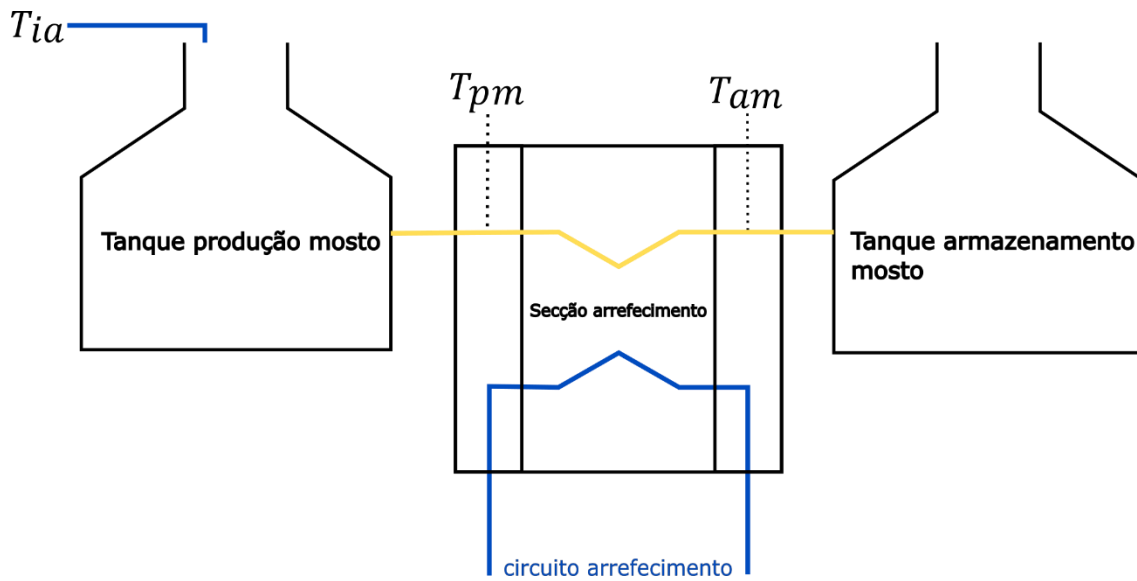


Figura 4.8 - Arrefecedor para mosto sem recuperação

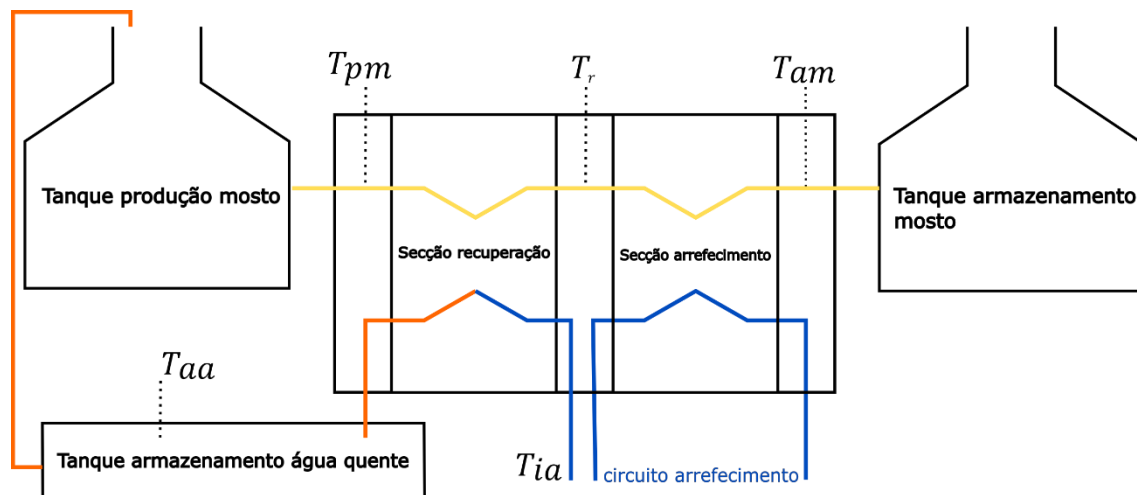


Figura 4.9 - Arrefecedor para mosto com recuperação

Exemplo prático Arsopi-Thermal:

PHE CH-UX10 (arrefecedor).

Situação antes da alteração:

$$T_{ia} = 10^{\circ}\text{C} \rightarrow T_{pm} = 90^{\circ}\text{C} \rightarrow T_{am} = 15^{\circ}\text{C}$$

Situação depois da alteração:

$$T_{ia} = 10^{\circ}\text{C} \rightarrow T_{aa} = 75^{\circ}\text{C} \rightarrow T_{pm} = 90^{\circ}\text{C} \rightarrow T_r = 21.38^{\circ}\text{C} \rightarrow T_{am} = 15^{\circ}\text{C}$$

$T_{\text{água produção}}$ aumenta logo $P_{\text{aquecimento}}$ diminui

$P_{\text{arrefecimento}}$ diminui para atingir a mesma T_{am}

Na Figura 4.10 e Figura 4.11 são representados dois excertos da *datasheet* correspondente a situação antes e depois, respetivamente, da alteração do PHE.

Permutadores de calor de placas

Secções		I				II			
Lado		Quente ¹		Frio		Quente ¹		Frio	
Fluido		Mosto de Cerveja		Água		Mosto de Cerveja		Propileno Glicol 30%	
Caudal	<i>m³/h</i>	6.30		6.50		6.30		12.60	
Tipo	<i>In – Entrada / Out – Saída</i>	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out
Orientação		S2	S4	S3	S1	E4	M12H	M11H	E3
Temperatura	<i>°C</i>	90.00	70.00	10.00	28.78	70.00	15.00	-5.00	22.31
Perda de Carga	<i>bar</i>	0.711		0.758		0.018		0.071	
Calor Trocado	<i>kW</i>	141.71				389.71			

Figura 4.10 - Excerto do programa térmico inicial

PROGRAMA TERMAL								
SEC.	PRODUCTO	CAUDAL	POS.	TEMPERATURA	POS.	TEMPERATURA	PÉRDIDA DE PRESIÓN	POTENCIA
I	MOSTO DE CERVEZA	6 300 L/h	S3	90,00 °C	—	21,38 °C	0,49 bar	486,24 kW
	ÁGUA	6 500 L/h	M12H	10,00 °C	S4	75,00 °C	0,47 bar	
II	MOSTO DE CERVEZA	6 300 L/h	—	21,38 °C	E3	15,00 °C	0,10 bar	45,21 kW
	PROP. GLICOL 30%	2 000 L/h	E4	-5,00 °C	E2	14,96 °C	0,03 bar	

Figura 4.11 - Excerto do programa térmico com recuperação de calor

Nota: o permutador inicial tinha uma pequena secção de permuta de calor com água mas o calor proveniente dessa secção não era aproveitado.

Na Figura 4.12 pode-se observar os dois PHE nas instalações do cliente.



Figura 4.12 - Fotografia da instalação provisória para teste no cliente

5 PROJETO DE ALTERAÇÕES DE PHE

5.1 Introdução

A Arsopi-Thermal recebe vários pedidos para modificar permutadores ou substituí-los e muitas vezes isso implica a alteração da tubagem que se encontra ligada ao equipamento. Para o cliente, o processo de alteração fica simplificado se a Arsopi-Thermal realizar todas as modificações necessárias para o perfeito funcionamento da instalação. Com os pedidos dos clientes para realizar este tipo de serviço, a empresa começou a executar as alterações mais simples, mas com o objetivo de evoluir e realizar todas as alterações propostas. Um dos pontos que a DE quis desenvolver foi o projeto 3D da envoltória e tubagens do permutador.

O aluno realizou várias modelações de alterações de instalações de clientes com o objetivo de prever o material necessário e eventuais dificuldades durante a execução dos trabalhos, tornando a equipa de assistência técnica mais preparada para a alteração. Ao antecipar as necessidades com melhor precisão, provoca uma melhor estimativa para orçamentação de material que será usado nas tubagens e acessórios.

A alteração na instalação circundante ao equipamento é motivada principalmente por duas situações: modificação do PHE ou substituição de um permutador antigo para um equipamento novo. Devido a modularidade deste tipo de permutador, os PHE podem ser reconfigurados para executarem diferentes programas térmicos ao longo da sua vida útil levando a necessidade da alteração das tubagens e equipamentos adjacentes. Para o caso de ser necessário substituir equipamentos de marcas concorrentes ou modelos descontinuados que não existem peças de substituição, pode ser necessário recorrer a modificação da instalação para receber o equipamento novo da Arsopi-Thermal.

O estudo começa com uma visita ao cliente para recolher dados da envoltória do permutador nomeadamente dimensões de tubagem e restrições da instalação. Com os dados necessários, é construído um modelo 3D que representa a instalação atual. O modelo 3D é constituído por todas as tubagens ligadas ao permutador, estruturas, equipamentos e tubagens próximas do equipamento, de forma a prever qualquer colisão com o permutador novo. A unidade comercial com o configurador de produto estuda as possibilidades de modelos que cumpram os programas térmicos. O projeto 3D da instalação atual e os modelos possíveis são analisados de forma a ser escolhido o permutador que melhor se adapta as condições do local e das ligações. O modelo 3D da instalação atual é modificado de forma a tubagem possa ser ligada às respetivas entradas e saídas do permutador. Com os dois modelos 3D criados, são inventariadas as alterações nas cotas das tubagens e eventuais acessórios. Com o conhecimento das alterações necessárias para receber o novo equipamento, sabemos as operações a executar e a lista de material necessário. Essa informação é passada ao departamento comercial para executar uma orçamentação mais precisa da alteração pedida pelo cliente. Para além de uma orçamentação mais precisa, a lista

de operações a realizar permite uma estimativa de tempo necessário para executar a alteração e orientação para os técnicos que realizem a alteração no local da obra.

Apesar dos esforços, não foi adjudicada nenhuma modificação no período de estágio, por isso nenhum estudo das alterações foi realizado no cliente.

Foram realizados vários estudos, apresentam-se, de seguida, 3 casos diferentes das várias análises realizadas durante o período de estágio.

5.2 Alteração 1

O permutador encontra-se em funcionamento numa instalação alimentar, Figura 5.1.



Figura 5.1 - Instalação atual da alteração 1

Este caso foi motivado pelo aumento da eficiência do processo de pasteurização do produto. O equipamento vai aumentar 80 PTC alterando a localização de algumas entradas/saídas. Pretende-se manter as entradas e saídas da placa fixa na mesma posição sendo que vai alterar a localização das restantes sete, recuando-as devido ao aumento da secção de recuperação. O PHE está inserido num *skid* industrial dificultando o acesso ao permutador e suas ligações. Na indústria são muito usados os *skids* industriais que são sistemas com múltiplos equipamentos ligados entre si e montados de forma compacta numa estrutura metálica com automação para controlar os equipamentos. Os *skids* industriais destinam-se a realizar um

determinado processo com o objetivo de economizar espaço e serem instalados de forma simples.

Na zona mais a direita da Figura 5.2 pode-se visualizar o modelo 3D do estado atual da instalação. Na zona esquerda da figura visualiza-se a instalação com o permutador na configuração nova e respetivas alterações necessárias no meio envolvente.



Figura 5.2 – Vista frontal do projeto 3D da alteração 1

Com a alteração do PHE vai ser necessário alterar a localização de uma válvula e modificar a estrutura metálica de suporte para além das tubagens. No primeiro bloco sofre alterações nas entradas e saídas alterando de três cantos simples para um canto simples e um canto duplo. O segundo bloco e a placa móvel do permutador deslocam-se com o aumento de placas na secção de recuperação, ou seja, segunda secção mantendo as entradas e saídas. O suporte posterior após a alteração desloca-se para fora da estrutura do *skid* sendo necessário modificar a estrutura para receber o permutador. Com os dois modelos 3D, foi realizado a lista de material e alterações necessárias para receber o permutador modificado. Na Figura 5.3 é possível ter uma segunda vista do projeto 3D da alteração. Do lado esquerdo da Figura 5.3 encontra-se o estado atual da instalação e do lado direito após o incremento da área de transferência.

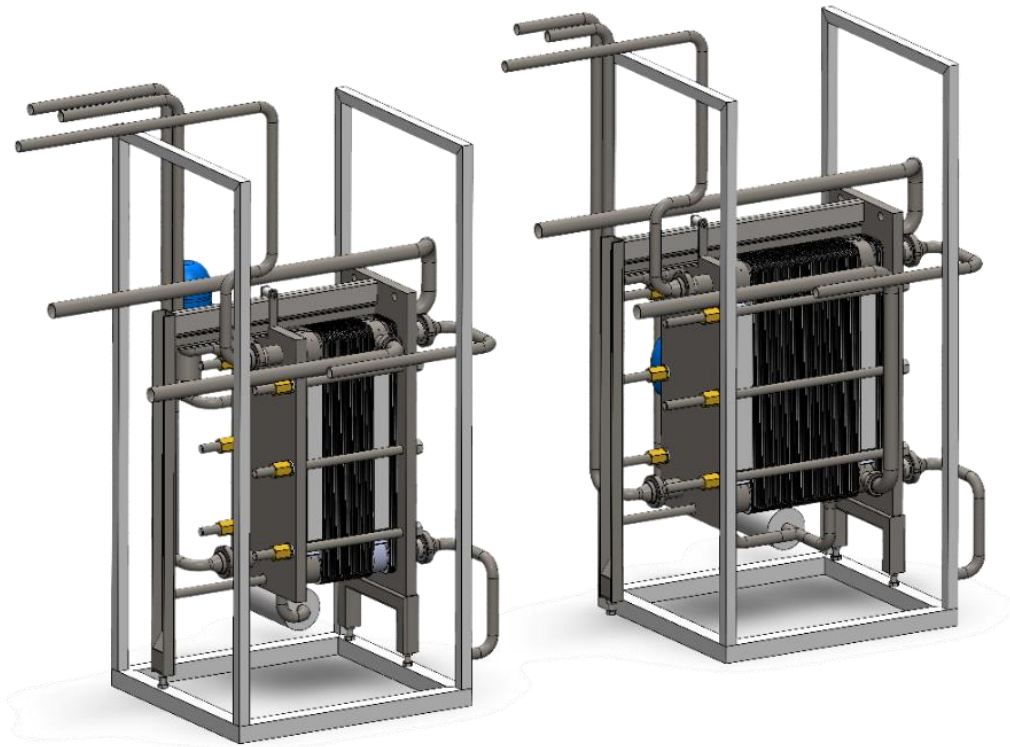


Figura 5.3 - Vista traseira do projeto 3D da alteração 1

5.3 Alteração 2

O permutador deste caso é um pasteurizador e está localizado numa instalações alimentares. O cliente deseja retirar uma secção de recuperação que atualmente não está a ser utilizada. O PHE vai reduzir 121 PTC na terceira secção. A remoção da secção significa que a placa móvel do permutador vai mover-se 565 mm em direcção à placa fixa sem alteração para nenhuma outra entrada/saída que não esteja presente na placa móvel. Na placa móvel encontram-se três tubagens conectadas que serão alongadas com uma dimensão igual a cota do conjunto de placas da terceira secção e do respetivo bloco que vai ser removido. O permutador encontra-se num local com boa acessibilidade, Figura 5.4.



Figura 5.4 - Instalação da alteração 2

Como solução da alteração, foram sugeridos prolongamentos para a tubagem. Estes componentes possuem como vantagens uma instalação rápida, sem necessidade da deslocação do soldador ao local da obra e a possibilidade de ser uma alteração reversível. Os componentes são constituídos com um macho compatível com o cone da junção localizada na tubagem, soldado a um tubo com mesmo diâmetro da instalação e um cone e fêmea compatível com o macho presente no permutador. O conjunto destas peças prontas tem o comprimento igual a cota do conjunto de placas e bloco a retirar. Serão necessários três componentes iguais para realizar a alteração. Foi efetuado um projeto 3D deste componente que é possível visualizar na Figura 5.5.

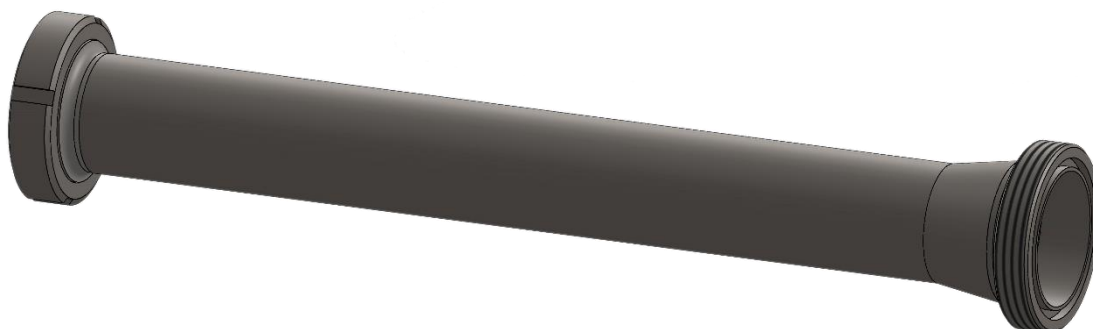


Figura 5.5 – Projeto 3D dos prolongamentos

5.4 Alteração 3

O equipamento está inserido numa linha de produção alimentar, Figura 5.6, e será substituído por um permutador novo devido a ser necessário aumentar o número de PTC para compensar o incremento de produção e também para um aumento da eficiência do processo.

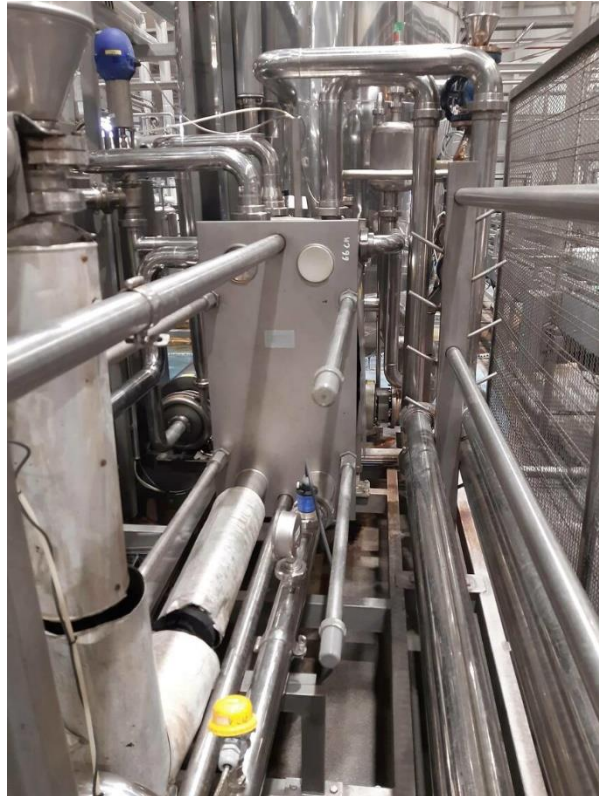


Figura 5.6 - Instalação da alteração 3

O PHE está a cumprir a função de pasteurizador do produto alimentar. O permutador antigo é de uma marca concorrente e por isso tem dimensões diferentes, não sendo compatível com as PTC fabricadas pela Arsopi-Thermal. Para aumento da área da transferência é necessário substituir o equipamento. Os equipamentos que cumprem o programa térmico têm dimensões diferentes do permutador antigo causando a alteração nas tubagens associadas ao equipamento. Após a visita ao local, foi decidido que o modelo ideal para realizar a substituição seria o CH-RX10, devido ao espaço limitado disponível no local da instalação e este modelo ter as dimensões mais próximas do PHE antigo e conseguir cumprir a potencia térmica necessária.

Este pasteurizador possui 10 entradas/saídas e todas as tubagens de ligação terão de ser modificadas para ligar ao novo PHE. O equipamento está localizado numa estrutura metálica que deverá sofrer modificações para poder albergar o novo equipamento. Os tirantes superior e inferior terão o mesmo comprimento do PHE antigo para ser suportado pela mesma estrutura sem alterações maiores. Esta alteração tem a dificuldade adicional de baixo espaço disponível na envoltória do

equipamento sendo necessário retirar o equipamento antigo desmontado e montar o novo já na sua localização final.

No lado direito da Figura 5.7 pode-se visualizar o modelo 3D do estado atual da instalação. Na zona esquerda da figura visualiza-se a instalação com o permutador novo e respectivas alterações necessárias no meio envolvente.

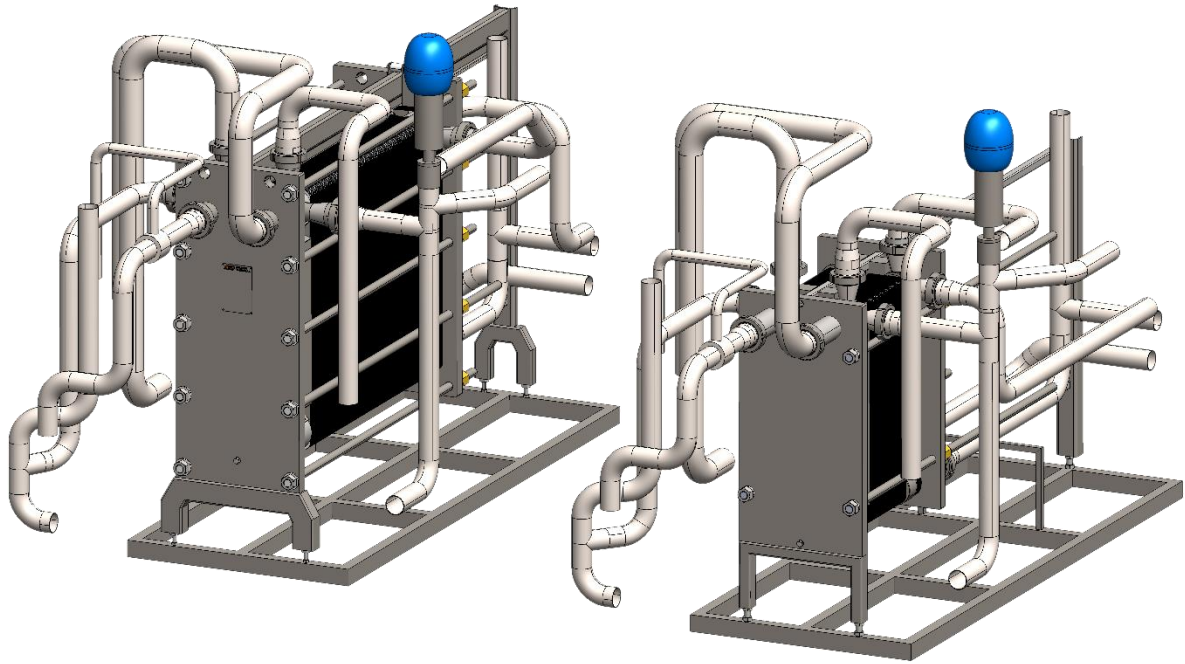


Figura 5.7 – Vista frontal do projeto 3D da alteração 3

Vai ser necessário, para além das modificações nas tubagens, remover uma estrutura de apoio às tubagens que ligam na placa móvel do PHE. Os instrumentos de medição presentes na tubagem da placa móvel vão mudar a sua localização em relação a tubagem em que se encontram inseridos.

As alterações referidas acima estão visíveis na Figura 5.8.

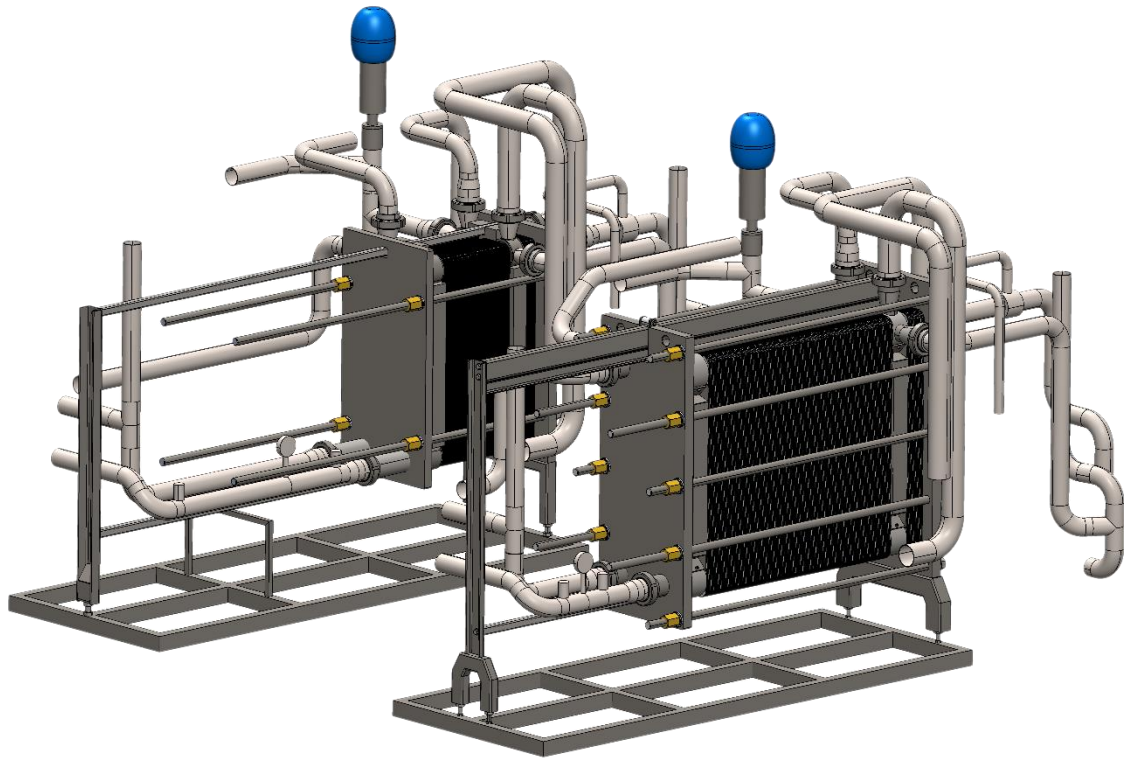


Figura 5.8 - Vista traseira do projeto 3D da alteração 3

Com a dimensão atual das tubagens e comparando às dimensões necessárias para receber o equipamento novo, realizei uma lista com as operações a realizar nas tubagens e meio envolvente com as respetivas cotas. Durante esse trabalho ainda adicionei uma lista de material necessário para a alteração.

6 PROJETO DE MINI-SKIDS

6.1 Objetivo

O mini-skid é um equipamento compacto capaz de controlar autonomamente a bomba circuladora e por consequência, controlar a energia térmica trocada entre a fonte de calor e a piscina de forma a manter a temperatura predefinida pelo utilizador na piscina.

A Arsopi-Thermal pretende com este tipo de equipamentos facilitar a sua instalação, compactar os componentes e criar uma interface de fácil regulação para utilizador final.

Este equipamento está inserido no circuito de filtragem da piscina após a água passar pelos filtros de forma que a água que flui pelo PHE tenha poucas impurezas para não ocorrer incrustações ou obstruções nas PTC.

O mini-skid têm três principais componentes: permutador de calor de placas, bomba circuladora e automação. O esquema hidráulico está representado na Figura 6.1.

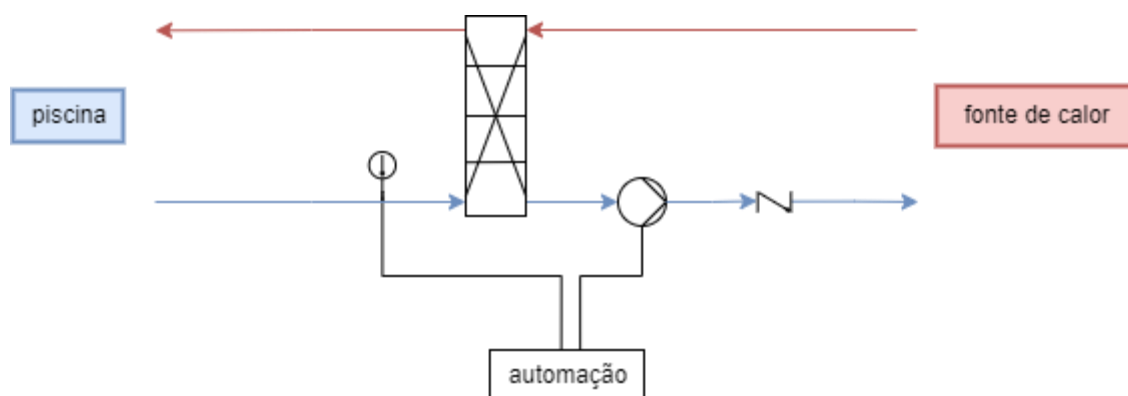


Figura 6.1 - Esquema hidráulico do mini-skid

6.2 Componentes do mini-skid

6.2.1 Permutador

Para esta aplicação, a linha de produto mais indicada é FH e o modelo da placa de transferência é UX005.

A linha FH destina-se a uso onde as condições higiénicas não são as mais importantes como na indústria alimentar, isto permite uma construção em aço carbono baixando o custo do matéria-prima. A proteção à corrosão é feita através da pintura aplicada nas partes fabricadas em aço carbono com tinta da cor azul, imagem da marca Arsopi-Thermal.

Permutadores de calor de placas

A placa de transferência de calor UX005 tem dimensões exteriores de 310 mm de comprimento e 114 mm de largura tornando-a na placa mais compacta a cumprir potencia térmica necessária para piscinas pequenas e médias.

As PTC podem ser de dois materiais para esta aplicação: aço inoxidável 316L e titânio.

O aço inoxidável 316L é destinado para piscinas com tratamento da água com cloro, enquanto o titânio, oferece uma melhor proteção contra a corrosão para piscinas com tratamento de sal.

O número de placas por permutador vai variar conforme a temperatura da fonte de calor e o volume da piscina, incrementando o número de placas com o aumento do volume da piscina ou com a descida da temperatura da fonte de calor. Para os cálculos térmicos realizados existe um intervalo de 11 até 47 PTC por permutador.

O permutador tem um componente personalizado para incorporar a sonda que permite a leitura da temperatura da água da piscina. O PHE do mini-skid possui três ponteiros de uma polegada padrão e uma ponteira de uma polegada personalizada. Esta peça personalizada consistiu em furar a ponteira e soldar uma bainha para permitir uma boa transmissão da temperatura do fluido para o sensor. A bainha foi produzida através de torneamento e tem um milímetro de espessura.

Foi realizado a modelação 3D, Figura 6.2, da modificação necessária para produzir a bainha e os desenhos necessários para apoio à sua produção.

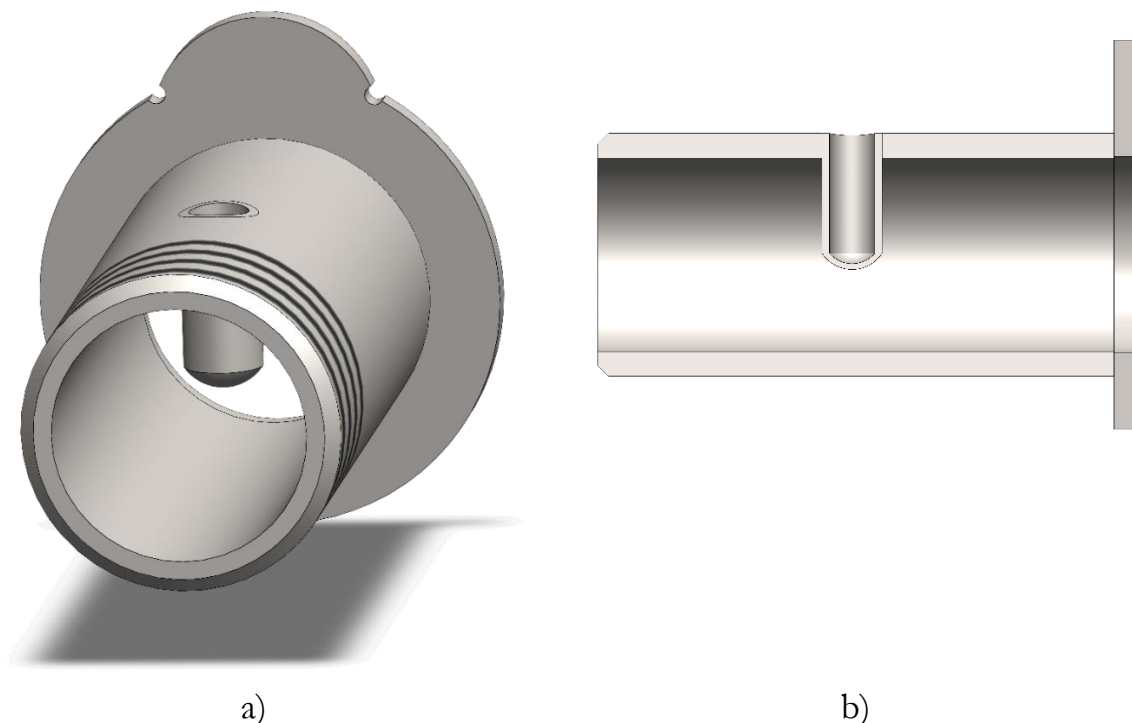


Figura 6.2 - Modelação 3D da ponteira personalizada: a) vista em perspectiva; b) vista em corte

6.2.2 Suporte permutador

Todos os suportes projetados anteriormente para os PHE da Arsopi-Thermal foram pensados para suportarem apenas o permutador. Como o mini-skid possui mais componentes como a bomba e a automação, foi necessário projetar um novo suporte para acomodar todos os componentes de forma compacta. Após vários conceitos diferentes explorados para o suporte foi escolhido o conceito representado na Figura 6.3 para o protótipo. Com a sua modelação 3D foi possível produzir vários desenhos de apoio à produção do suporte.

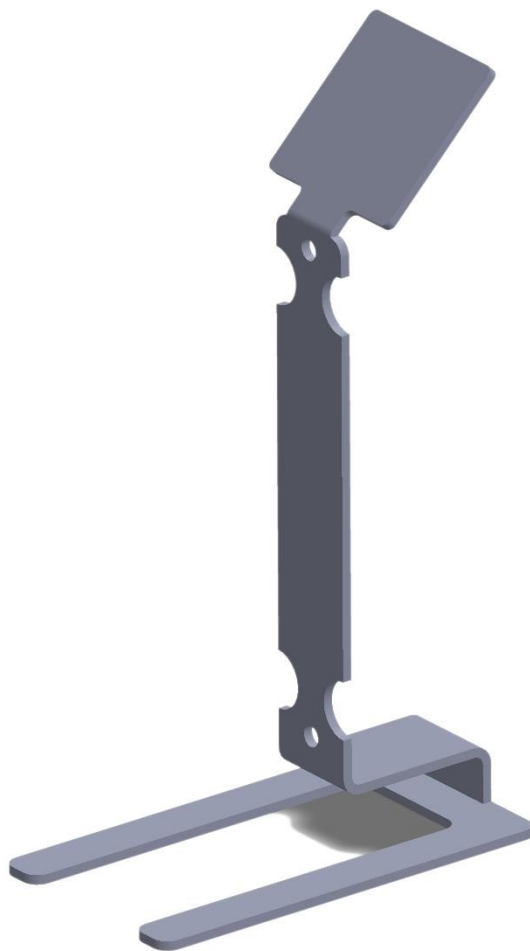


Figura 6.3 - Modelação 3D do suporte para o mini-skid

Foram necessárias operações de corte, quinagem, soldadura e decapagem para obter o estado final do protótipo do suporte., Figura 6.4.



Figura 6.4 – Protótipo do suporte do mini-skid

Devido ao equipamento ser pensado para ser instalado em espaços técnicos de piscinas onde normalmente existe uma forte presença de humidade e água, o melhor material para a sua conceção será um aço inoxidável. O formato do suporte é pensado de forma a elevar o permutador do solo, devido a este ter componentes em aço carbono que poderiam sofrer corrosão com o tempo. O suporte foi construído com chapa de 6 mm de aço inoxidável 304L devido a uma maior disponibilidade de material. Posteriormente poderá incluir furações para ser fixado no solo.

6.2.3 Bomba circuladora

Para as fontes de calor que não possuam uma bomba para circular o fluido quente ou para ligações a depósitos de inercia ou coletores, é necessário fornecer uma bomba para superar a perda de carga causada pelo PHE do lado do circuito quente.

Após análise da perda de carga nos cálculos térmicos dos PHE dimensionados, foi escolhida para o protótipo a bomba Grundfos ALPHA1 L 25-60 130, Figura 6.5, devido a conseguir cumprir várias configurações para as várias fontes de calor e volumes de piscina e tem um formato compacto.



Figura 6.5 - Grundfos ALPHA1 L 25-60 130

A bomba circuladora tem 5 curvas diferentes que estão representadas na Figura 6.6.

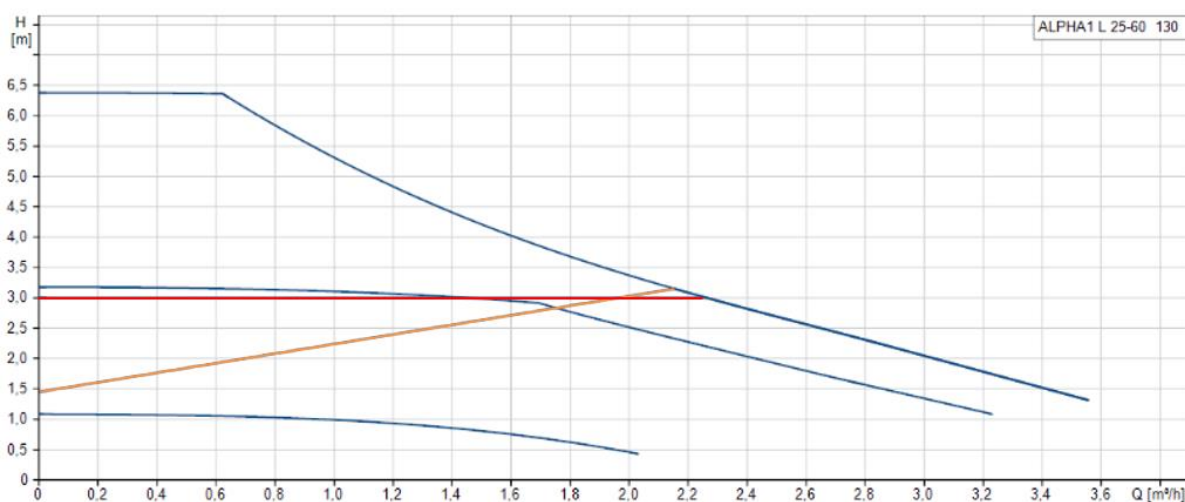


Figura 6.6 - Curva da bomba Grundfos ALPHA1 L 25-60 130

A bomba possui 3 curvas de velocidade constante, curva mínima, intermedia e máxima, caracterizado com a cor azul na figura. O circulador possui uma curva de pressão proporcional, representada a laranja, que o caudal e a altura manométrica aumentam de forma constante até ao limite da curva de velocidade máxima. Esta bomba também possui uma curva de pressão constante, com a cor vermelha, que mantém a altura manométrica constante com a variação do caudal

O corpo da bomba é feito a partir de ferro fundido e o impulsor com compósito de poliétersulfona (PES) com 30% fibra de vidro. Esta bomba possui uma dimensão de entre portas de 130 mm. Tem como consumo elétrico máximo de 0.42 A, permitindo trabalhar por longos períodos com baixos consumos de energia.

Junto a bomba, encontra-se uma válvula antirretorno para evitar que o circuito possa ser invertido.

6.2.4 Automação

Na automação, pretende-se fazer o controlo da temperatura em que se encontra a piscina.

O controlo da temperatura é efetuado através do arranque e paragem da bomba circuladora no circuito da fonte de calor permitindo que o circuito quente transfira calor para o circuito frio até atingir a temperatura pretendida na piscina.

A temperatura é medida através de um sensor na entrada da água da piscina no PHE e a informação é transmitida à caixa de controlo. É possível controlar a temperatura pretendida na piscina através de dois botões. A caixa de controlo incorpora um ecrã, onde conseguimos visualizar a temperatura à entrada do permutador da água da piscina e a temperatura alvo que pretendemos que a piscina atinja.

No protótipo, a automação, Figura 6.7, foi efetuada com base num Arduíno e alguns componentes básicos de eletrónica de forma a perceber, quais as funções essenciais para este equipamento funcionar corretamente.



Figura 6.7 - Protótipo da automação montada no suporte

Esta automação foi montada pelo aluno com base nalguns conhecimentos que possuía anteriormente e pesquisa sobre o assunto. Numa primeira fase foi realizado uma simulação numa plataforma online, Tinkercad, onde é possível montar e testar os componentes eletrónicos em ambiente digital

Em ambiente digital foi construído o circuito representado na Figura 6.8. A plataforma não tem todos componentes utilizados na automação pelo que teve de substituir dois componentes por outros disponíveis no simulador com o mesmo princípio de funcionamento. Os componentes alterados são o sensor de temperatura DS18B20 e o relé, que foram substituídos por um sensor de temperatura TMP e um led, respetivamente.

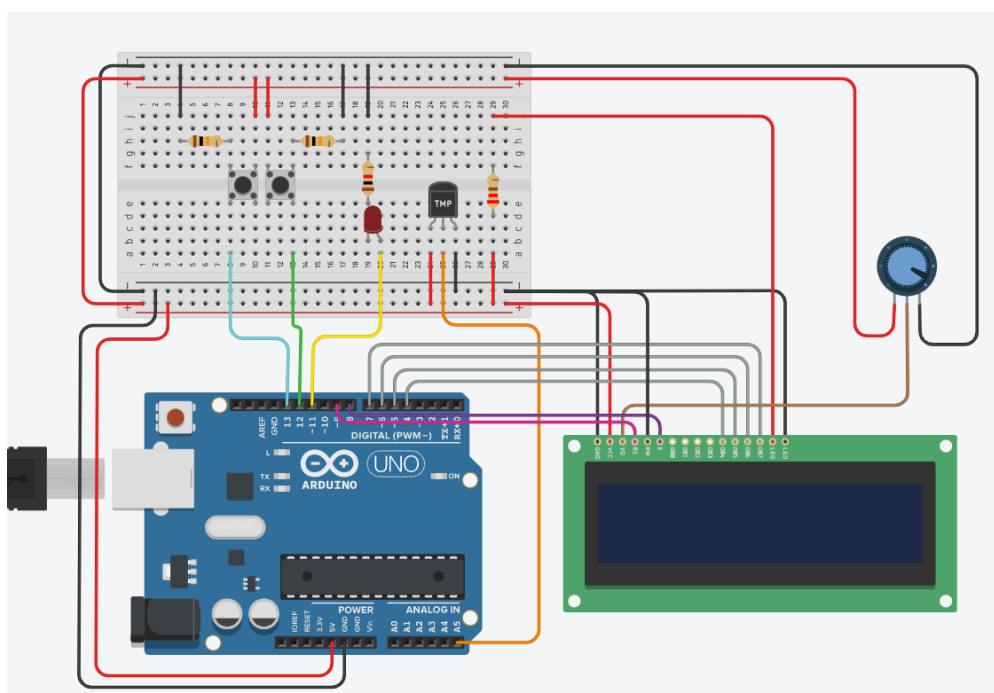


Figura 6.8 - Circuito simulado no Tinkercad

Os sensores de temperatura DS18B20 e TMP tem formas diferentes de transmitir os dados, levando a um ajuste no código do Arduino quando foi testado com o sensor utilizado.

Tanto o led como o relé são ativados quando recebem o sinal emitido pela placa programável, não existindo diferença no código presente no Arduino.

Na segunda fase, os componentes foram todos montados numa placa de ensaio e o código enviado para a placa. Com os componentes montados na placa de ensaios possibilita facilmente detetar erros e rapidamente corrigir. Foram efetuados vários testes de forma a melhorar o código e parâmetros.

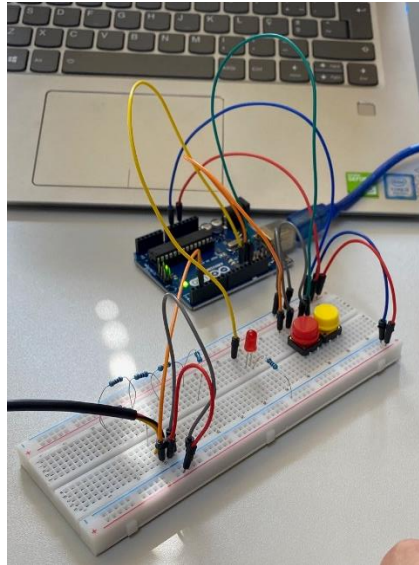


Figura 6.9 - Automação montada na placa de ensaios

Na terceira fase, com toda a automação testada, foi necessário soldar todos os componentes de forma mais permanente e alimentar o Arduino com pilhas para não ser necessário ligar ao computador. Depois de tudo devidamente ligado, foi necessário imobilizar os componentes dentro de uma caixa estanque



Figura 6.10 - Automação montada na caixa estanque

Estes componentes foram todos embutidos numa caixa elétrica plástica, para que fique protegido a eventuais salpicos de água que possam ocorrer durante o seu funcionamento.

O sensor de temperatura, Figura 6.11, utilizado é do tipo DS18B20 com uma precisão de \pm meio grau Celsius e um intervalo de medição de -55°C até 125°C . Este sensor permite ser mergulhado em líquido apesar de este no protótipo não estar em contacto com o fluido.



Figura 6.11 - Sensor de temperatura DS18B20

6.3 Cálculos térmicos

Foram efetuados os cálculos térmicos para dimensionar os PHE para a aplicação pretendida, variando as temperaturas das diferentes fontes de calor e também os volumes das piscinas.

Nos cálculos térmicos foram escolhidas piscinas com volumes de 30, 60 e 100 m³, estes volumes com o objetivo de se adequarem a um contexto doméstico.

Como temperaturas de fonte de calor foram selecionadas três temperaturas diferentes: 50, 60 e 80 °C para representar as temperaturas respetivamente de bomba de calor tradicional, bomba de calor de alta entalpia e caldeira.

Para as temperaturas da piscina foi selecionado uma temperatura inicial de 14°C com o objetivo de temperatura final de 28°C em recirculação num período temporal de 16 até 25 horas dependendo da fonte de calor.

O número de PTC por PHE incrementa quando o volume da piscina aumenta devido à maior potência necessária para atingir a mesma temperatura final. Os permutadores também necessitam de um maior conjunto de placas quando a temperatura da fonte de calor diminui, sendo necessário um maior intervalo de tempo de troca térmica entre os dois fluidos.

No lado quente do PHE, o caudal situa-se entre 0,8 e 4,1 m³/h e a perda de carga entre 0,06 e 0,2 bar. No lado frio, os valores são ligeiramente superiores devido as bombas de filtragem das piscinas terem maior capacidade de bombagem do que circuladores. Esses valores situam-se em 1 até 6.3 m³/h para o caudal e para a perda de carga entre 0,12 e 0,48 bar.

Permutadores de calor de placas

Na Tabela 6.1 pode-se observar os valores mais importantes dos cálculos térmicos para as diferentes condições.

Tabela 6.1 - Dados dos cálculos térmicos dimensionados

Fonte de calor	V. pisc. (m ³)	Nº. PTC	Potência (kW)	Lado quente				Lado frio			
				Caudal (m ³ /h)	Perda de carga (bar)	T in (°C)	T out (°C)	Caudal (m ³ /h)	Perda de carga (bar)	T in (°C)	T out (°C)
bomba calor	30	17	23.3	1.3	0.12	50	var.	1.8	0.22	14	28
	60	33	46.5	2.6	0.14			3.3	0.23		
	100	47	77.5	4.1	0.2			6.3	0.48		
bomba HT/Solar	30	13	19.5	0.8	0.08	60	var.	1	0.12	14	28
	60	23	39.1	1.4	0.08			2.3	0.21		
	100	35	65.1	2.2	0.09			4.4	0.36		
caldeira	30	11	34.9	0.8	0.1	80	var.	1.2	0.24	14	28
	60	17	61.1	1.2	0.06			2.1	0.17		
	100	31	90.4	2	0.09			3.9	0.34		

No anexo apresentam-se as folhas dos cálculos térmicos com todas as informações técnicas utilizadas para obter os dimensionamentos.

6.4 Verificação do funcionamento do mini-skid

Para a verificação do correto funcionamento do sistema, foram utilizados dois pequenos tanques de água, um com água quente e o segundo com água fria. O tanque de água quente pretende simular a fonte quente e por isso foi necessário introduzir uma bomba para simular o circuito da fonte quente. O tanque de água fria simula a piscina a ser aquecida. A ligação entre o mini-skid e os tanques foi efetuada com mangueira flexível de uma polegada. Os tanques de água contêm um volume aproximado de 67 litros. A montagem pode ser visualizada na Figura 6.12.



Figura 6.12 – Sistema para teste do mini-skid

O tanque que se encontra à esquerda do mini-skid na Figura 6.12 simula a piscina e o tanque que se localiza à direita simula a fonte quente.

Após a montagem de todos os componentes necessários, a bomba da fonte quente foi acionada e depois o mini-skid ligado verificando que o sistema estava a funcionar. Quando o valor de temperatura pretendido do lado frio (piscina) foi atingido verificou-se que o circulador parou, parando a troca térmica entre os dois tanques. Depois o valor da temperatura pretendida foi alterado para um valor mais elevado levando o circulador a ser ativado para aumentar a temperatura do lado frio até atingir a temperatura alvo comprovando o correto funcionamento do mini-skid.

7 CONCLUSÃO

Os PHE têm muita importância sendo utilizados desde o setor alimentar até ao setor da energia, contribuindo para o nosso conforto de maneira que nem sempre temos conhecimento. Um equipamento em constante evolução e que permite uma grande modularidade e flexibilidade sendo muito apelativo para toda a indústria.

Durante todo o período, o estágio superou os objetivos inicialmente determinados, consolidando e enriquecendo os conhecimentos adquiridos durante todo o percurso académico. Com o estágio foi possível também adquirir novas competências que só é possível obter com a experiência prática.

De parte da Arsopi-Thermal foram disponibilizados todos os recursos e meios necessários para a realização de todas as tarefas propostas. A integração no departamento de engenharia da empresa foi muito importante estando sempre presente o apoio dos elementos da equipa com o conhecimento e experiência.


Os oito meses de estágio foram muito benéficos para a formação profissional do estagiário e bom enquadramento com a realidade do mercado de trabalho. Com as visitas aos clientes e suas unidades, foi possível conhecer os vários tipos de processos e instalações que necessitam de PHE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arsopi. (29 de novembro de 2022). *Parteurização do leite*. Obtido de Arsopi: <https://www.arsopi.pt/pt/catalogo/alimentar/lacticios/recepcao-tratamento-e-armazenagem/pasteurizacao-do-leite/>
- Arsopi-Thermal. (2022). *Catálogo geral*.
- Arsopi-Thermal. (2022). *Manual de instruções rev.12*.
- Arsopi-Thermal. (21 de dezembro de 2022). *Permutador de Calor de Placas com Junta*. Obtido de Arsopi-Thermal: <https://www.arsopi-thermal.pt/pt/produtos/permutador-de-calor-de-placas-com-junta/>
- Autodesk. (16 de Maio de 2023). *Circuitos*. Obtido de Tinkercad: <https://www.tinkercad.com/circuits>
- Brown, Z. (27 de Outubro de 2022). *SOLIDWORKS Routing 101: Pipe Design*. Obtido de goengineer: <https://www.goengineer.com/blog/solidworks-routing-101-pipe-design>
- Grundfos. (15 de Maio de 2023). *Aquecimento doméstico*. Obtido de Grundfos: <https://product-selection.grundfos.com/pt/applications/domestic-buildings/domestic-heating?tab=products>
- Guerreiro, P. M. (2017). *Avaliação do desempenho de permutadores de calor de placas nos laboratórios da ARSOPI-THERMAL*. Obtido de Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/103404>
- Hisaka Works. (24 de outubro de 2022). *Plate Heat Exchanger (PHE)*. Obtido de Hisaka Works: <https://hisaka-asia.com/phe>
- Wang, L., Sundén, B., & Manglik, R. M. (2007). *Plate Heat Exchangers: Design, Applications and Performance*. UK: WIT Press.

ANEXO – CÁLCULOS TÉRMICOS DO PROJETO DE MINI-SKIDS

MOD.039.01

		Folha de Dados Técnicos	
Proposta Nº	BOMBA CALOR_21H_3 0m3	25/05/2023	Item Nº
Ref. do Cliente		Modelo PHE	FH-UX005.5-S3N0-HG-TN-17
Lado		Quente	Frio
Fluido		Água	Água
Caudal	m³/h	1.30	1.80
Tipo	In – Entrada / Out – Saída	In	Out
Orientação		S2	S4
Temperatura	°C	50.00	Variável
Perda de Carga	bar	0.120	0.220
Calor Trocado	kW	23.25	
Arranjo de Placas		8H x 1	8H x 1
Direção dos Fluidos		Contracorrente	
Densidade	kg/m³	1.0000	1.0000
Calor Específico	kJ/(kg.°C)	4.1860	4.1860
Condutividade Térmica	W/(m.°C)	0.6303	0.6303
Viscosidade	mPa.s	0.6316	0.6316
UC	W/(m².°C)	5980.00	
UD	W/(m².°C)	5712.00	
LMTD	°C	-	
Código de Construção		ASME + PED	
Classificação PED		SEP	
Grupo Fluido (PED)		2	2
Pressão de Cálculo	bar.g	10.0	10.0
Pressão de Teste	bar.g	13.0	
Temperatura de Cálculo	°C	100	100
Volume	l	0.3	0.3
Juntas (Material)		NBR	NBR
Placas (Material/Espessura)		316L / 0,5 mm	
Estrutura (Material)		S355J2+N	
Tirantes de Aperto (Material)		SA-193 B7 + SA-194 2H	
Peso (Vazio)	kg	17.30	
Nº de Placas (Instaladas/Máximo)		17 / 26	
Área de transferência de calor	m²	0.27	
Sobredimensionamento	%	4.70	
Notas *Recirculação: 30.00 [m³] / 21.00 [h] / 1758162.00 [kJ]			



Proposta Nº	BOMBA CALOR_21H_6 0m3	25/05/2023	Item Nº	
Ref. do Cliente			Modelo PHE	FH-UX005.5-S3N0-HG-TN-33

Lado	Quente		Frio		
Fluido	Água		Água		
Caudal	2.60		3.30		
Tipo	In – Entrada / Out – Saída	In	Out	In	Out
Orientação		S2	S4	S3	S1
Temperatura	°C	50.00	Variável	14.00*	28.00
Perda de Carga	bar	0.140		0.230	
Calor Trocado	kW	46.51			
Arranjo de Placas		16H x 1		16H x 1	
Direção dos Fluidos		Contracorrente			

Densidade	kg/m³	1.0000		1.0000	
Calor Específico	kJ/(kg.°C)	4.1860		4.1860	
Condutividade Térmica	W/(m.°C)	0.6303		0.6303	
Viscosidade	mPa.s	0.6316		0.6316	
UC	W/(m².°C)	5845.00			
UD	W/(m².°C)	5704.00			
LMTD	°C	-			


Código de Construção	ASME + PED				
Classificação PED	SEP				
Grupo Fluido (PED)	2		2		
Pressão de Cálculo	bar.g	10.0		10.0	
Pressão de Teste	bar.g	13.0			
Temperatura de Cálculo	°C	100		100	

Volume	l	0.6		0.6	
Juntas (Material)		NBR		NBR	
Placas (Material/Espessura)		316L / 0,5 mm			
Estrutura (Material)		S355J2+N			
Tirantes de Aperto (Material)		SA-193 B7 + SA-194 2H			
Peso (Vazio)	kg	19.50			

Nº de Placas (Instaladas/Máximo)		33 / 49			
Área de transferência de calor	m²	0.56			
Sobredimensionamento	%	2.48			

Notas

*Recirculação: 60.00 [m³] / 21.00 [h] / 3516324.00 [kJ]

 ARSOP THERMAL		Folha de Dados Técnicos	
Proposta Nº	BOMBA CALOR_21H_1 00m3	25/05/2023	Item Nº
Ref. do Cliente		Modelo PHE	FH-UX005.5-S3N0-HG-TN-47
Lado		Quente	Frio
Fluído		Água	Água
Caudal	m³/h	4.10	6.30
Tipo	In – Entrada / Out – Saída	In	Out
Orientação		S2	S4
Temperatura	°C	50.00	Variável
Perda de Carga	bar	0.200	0.480
Calor Trocado	kW	77.52	
Arranjo de Placas		23H x 1	23H x 1
Direção dos Fluidos		Contracorrente	
Densidade	kg/m³	1.0000	1.0000
Calor Específico	kJ/(kg·°C)	4.1860	4.1860
Condutividade Térmica	W/(m·°C)	0.6297	0.6297
Viscosidade	mPa·s	0.6369	0.6369
UC	W/(m²·°C)	6489.00	
UD	W/(m²·°C)	6455.00	
LMTD	°C	-	
Código de Construção		ASME + PED	
Classificação PED		SEP	
Grupo Fluido (PED)		2	2
Pressão de Cálculo	bar-g	10.0	10.0
Pressão de Teste	bar-g	13.0	
Temperatura de Cálculo	°C	100	100
Volume	l	0.9	0.9
Juntas (Material)		NBR	NBR
Placas (Material/Espessura)		316L / 0,5 mm	
Estrutura (Material)		S355J2+N	
Tirantes de Aperto (Material)		SA-193 B7 + SA-194 2H	
Peso (Vazio)	kg	22.10	
Nº de Placas (Instaladas/Máximo)		47 / 49	
Área de transferência de calor	m²	0.81	
Sobredimensionamento	%	0.53	
Notas			
*Recirculação: 100.00 [m³] / 21.00 [h] / 5860540.00 [kJ]			



Proposta Nº	CALDEIRA_16 H_30m3	30/05/2023	Item Nº	
Ref. do Cliente			Modelo PHE	FH-UX005.5-S3N0-HG-TN-11

Lado	Quente		Frio	
Fluido	Água		Água	
Caudal	0.80		1.20	
Tipo	In – Entrada / Out – Saída		In	Out
Orientação	S2	S4	S3	S1
Temperatura	80.00	Variável	14.00*	28.00
Perda de Carga	0.100		0.240	
Calor Trocado	30.52			
Arranjo de Placas	5H x 1		5H x 1	
Direção dos Fluidos	Contracorrente			

Densidade	kg/m³	1.0000	1.0000
Calor Específico	kJ/(kg.°C)	4.1860	4.1860
Condutividade Térmica	W/(m.°C)	0.6550	0.6550
Viscosidade	mPa.s	0.4457	0.4457
UC	W/(m².°C)	6665.00	
UD	W/(m².°C)	6067.00	
LMTD	°C	-	


Código de Construção	ASME + PED	
Classificação PED	SEP	
Grupo Fluido (PED)	2	2
Pressão de Cálculo	10.0	10.0
Pressão de Teste	13.0	
Temperatura de Cálculo	100	100

Volume	l	0.2	0.2
Juntas (Material)		NBR	NBR
Placas (Material/Espessura)		316L / 0,5 mm	
Estrutura (Material)		S355J2+N	
Tirantes de Aperto (Material)		SA-193 B7 + SA-194 2H	
Peso (Vazio)	kg	16.50	

Nº de Placas (Instaladas/Máximo)		11 / 26
Área de transferência de calor	m²	0.16
Sobredimensionamento	%	9.86

Notas

*Recirculação: 30.00 [m³] / 16.00 [h] / 1758162.00 [kJ]


 Folha de Dados Técnicos			
Proposta Nº	CALDEIRA_18 H_60m3 30/05/2023	Item Nº	
Ref. do Cliente		Modelo PHE	FH-UX005.5-S3N0-HG-TN-23
Lado		Quente	Frio
Fluido		Água	Água
Caudal m ³ /h		1.20	2.10
Tipo In – Entrada / Out – Saída		In	Out
Orientação		S2	S4
Temperatura °C		80.00	Variável
Perda de Carga bar		0.060	0.170
Calor Trocado kW		54.26	
Arranjo de Placas		11H x 1	11H x 1
Direção dos Fluidos		Contracorrente	
Densidade kg/m ³		1.0000	1.0000
Calor Específico kJ/(kg.°C)		4.1860	4.1860
Condutividade Térmica W/(m.°C)		0.6519	0.6519
Viscosidade mPa.s		0.4664	0.4664
UC W/(m ² .°C)		5447.00	
UD W/(m ² .°C)		5254.00	
LMTD °C		-	
Código de Construção		ASME + PED	
Classificação PED		SEP	
Grupo Fluido (PED)		2	2
Pressão de Cálculo bar-g		10.0	10.0
Pressão de Teste bar-g		13.0	
Temperatura de Cálculo °C		100	100
Volume l		0.4	0.4
Juntas (Material)		NBR	NBR
Placas (Material/Espessura)		316L / 0,5 mm	
Estrutura (Material)		S355J2+N	
Tirantes de Aperto (Material)		SA-193 B7 + SA-194 2H	
Peso (Vazio) kg		18.10	
Nº de Placas (Instaladas/Máximo)		23 / 26	
Área de transferência de calor m ²		0.38	
Sobredimensionamento %		3.69	
Notas			
*Recirculação: 60.00 [m ³] / 18.00 [h] / 3516324.00 [kJ]			



Proposta Nº	CALDEIRA_18 H_100m3	30/05/2023	Item Nº	
Ref. do Cliente			Modelo PHE	FH-UX005.5-S3N0-HG-TN-31
Lado		Quente		Frio
Fluido		Água		Água
Caudal	m³/h	2.00		3.90
Tipo	In – Entrada / Out – Saída	In	Out	In Out
Orientação		S2	S4	S3 S1
Temperatura	°C	80.00	Variável	14.00* 28.00
Perda de Carga	bar	0.090		0.340
Calor Trocado	kW	90.44		
Arranjo de Placas		15H x 1		15H x 1
Direção dos Fluidos		Contracorrente		
Densidade	kg/m³	1.0000		1.0000
Calor Específico	kJ/(kg.°C)	4.1860		4.1860
Condutividade Térmica	W/(m.°C)	0.6519		0.6519
Viscosidade	mPa.s	0.4664		0.4664
UC	W/(m².°C)	6312.00		
UD	W/(m².°C)	6132.00		
LMTD	°C	-		
Código de Construção		ASME + PED		
Classificação PED		SEP		
Grupo Fluido (PED)		2	2	
Pressão de Cálculo	bar.g	10.0	10.0	
Pressão de Teste	bar.g	13.0		
Temperatura de Cálculo	°C	100	100	
Volume	l	0.6	0.6	
Juntas (Material)		NBR	NBR	
Placas (Material/Espessura)		316L / 0,5 mm		
Estrutura (Material)		S355J2+N		
Tirantes de Aperto (Material)		SA-193 B7 + SA-194 2H		
Peso (Vazio)	kg	20.00		
Nº de Placas (Instaladas/Máximo)		31 / 49		
Área de transferência de calor	m²	0.52		
Sobredimensionamento	%	2.94		

Notas

*Recirculação: 100.00 [m³] / 18.00 [h] / 5860540.00 [kJ]


 ASOPI THERMAL		Folha de Dados Técnicos	
Proposta Nº	30/05/2023	Item Nº	SOLAR_25H_30m3
Ref. do Cliente		Modelo PHE	FH-UX005.5-S3N0-HG-TN-13
Lado		Quente	Frio
Fluido		Água	Água
Caudal	m³/h	0.80	1.00
Tipo	In – Entrada / Out – Saída	In	Out
Orientação		S2	S4
Temperatura	°C	60.00	Variável
Perda de Carga	bar	0.080	0.120
Calor Trocado	kW	19.53	
Arranjo de Placas		6H x 1	6H x 1
Direção dos Fluidos		Contracorrente	
Densidade	kg/m³	1.0000	1.0000
Calor Específico	kJ/(kg·°C)	4.1860	4.1860
Condutividade Térmica	W/(m·°C)	0.6395	0.6395
Viscosidade	mPa·s	0.5562	0.5562
UC	W/(m²·°C)	5341.00	
UD	W/(m²·°C)	5033.00	
LMTD	°C	-	
Código de Construção		ASME + PED	
Classificação PED		SEP	
Grupo Fluido (PED)		2	2
Pressão de Cálculo	bar-g	10.0	10.0
Pressão de Teste	bar-g	13.0	
Temperatura de Cálculo	°C	100	100
Volume	l	0.2	0.2
Juntas (Material)		NBR	NBR
Placas (Material/Espessura)		316L / 0,5 mm	
Estrutura (Material)		S355J2+N	
Tirantes de Aperto (Material)		SA-193 B7 + SA-194 2H	
Peso (Vazio)	kg	17.30	
Nº de Placas (Instaladas/Máximo)		13 / 26	
Área de transferência de calor	m²	0.20	
Sobredimensionamento	%	6.12	
Notas			
*Recirculação: 30.00 [m³] / 25.00 [h] / 1758162.00 [kJ]			



Proposta N°	SOLAR_25H_6 0m3	30/05/2023	Item N°	
Ref. do Cliente			Modelo PHE	FH-UX005.5-S3N0-HG-TN-23
Lado		Quente	Frio	
Fluido		Água	Água	
Caudal	m³/h	1.40	2.30	
Tipo	In – Entrada / Out – Saída	In	Out	In Out
Orientação		S2	S4	S3 S1
Temperatura	°C	60.00	Variável	14.00* 28.00
Perda de Carga	bar	0.080		0.210
Calor Trocado	kW	39.07		
Arranjo de Placas		11H x 1		11H x 1
Direção dos Fluidos		Contracorrente		
Densidade	kg/m³	1.0000		1.0000
Calor Específico	kJ/(kg.°C)	4.1860		4.1860
Condutividade Térmica	W/(m.°C)	0.6376		0.6376
Viscosidade	mPa.s	0.5709		0.5709
UC	W/(m².°C)	5552.00		
UD	W/(m².°C)	5473.00		
LMTD	°C	-		
Código de Construção		ASME + PED		
Classificação PED		SEP		
Grupo Fluido (PED)		2		2
Pressão de Cálculo	bar.g	10.0		10.0
Pressão de Teste	bar.g	13.0		
Temperatura de Cálculo	°C	100		100
Volume	l	0.4		0.4
Juntas (Material)		NBR		NBR
Placas (Material/Espessura)		316L / 0,5 mm		
Estrutura (Material)		S355J2+N		
Tirantes de Aperto (Material)		SA-193 B7 + SA-194 2H		
Peso (Vazio)	kg	18.10		
N° de Placas (Instaladas/Máximo)		23 / 26		
Área de transferência de calor	m²	0.38		
Sobredimensionamento	%	1.44		
Notas				
*Recirculação: 60.00 [m³] / 25.00 [h] / 3516324.00 [kJ]				

Permutadores de calor de placas

MOD.039.01

 ASOPI THERMAL		Folha de Dados Técnicos		
Proposta N°	SOLAR_25H_1 00m3	30/05/2023	Item N°	
Ref. do Cliente		Modelo PHE	FH-UX005.5-S3N0-HG-TN-35	
Lado		Quente		Frio
Fluido		Água		Água
Caudal	m³/h	2.20		4.40
Tipo	In – Entrada / Out – Saída	In	Out	In Out
Orientação		S2	S4	S3 S1
Temperatura	°C	60.00	Variável	14.00* 28.00
Perda de Carga	bar	0.090		0.360
Calor Trocado	kW	65.12		
Arranjo de Placas		17H x 1		17H x 1
Direção dos Fluidos		Contracorrente		
Densidade	kg/m³	1.0000		1.0000
Calor Específico	kJ/(kg·°C)	4.1860		4.1860
Condutividade Térmica	W/(m·°C)	0.6367		0.6367
Viscosidade	mPa·s	0.5783		0.5783
UC	W/(m²·°C)	5861.00		
UD	W/(m²·°C)	5839.00		
LMTD	°C	-		
Código de Construção		ASME + PED		
Classificação PED		SEP		
Grupo Fluido (PED)		2		2
Pressão de Cálculo	bar-g	10.0		10.0
Pressão de Teste	bar-g	13.0		
Temperatura de Cálculo	°C	100		100
Volume	l	0.7		0.7
Juntas (Material)		NBR		NBR
Placas (Material/Espessura)		316L / 0,5 mm		
Estrutura (Material)		S355J2+N		
Tirantes de Aperto (Material)		SA-193 B7 + SA-194 2H		
Peso (Vazio)	kg	20.60		
N° de Placas (Instaladas/Máximo)		35 / 49		
Área de transferência de calor	m²	0.59		
Sobredimensionamento	%	0.36		
Notas				
*Recirculação: 100.00 [m³] / 25.00 [h] / 5860540.00 [kJ]				



**Instituto Superior
de Engenharia**

Politécnico de Coimbra