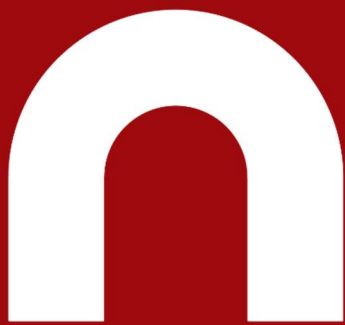




isec
Engenharia

DEFINITIVO

MESTRADO EM ENGENHARIA
MECÂNICA

**Projeto de uma instalação frigorífica
comercial com reduzido potencial de
aquecimento global**

Autor

Daniel Santos Loureiro

Orientadores

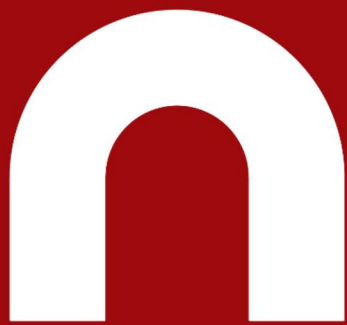
Prof. Doutor Gilberto Cordeiro Vaz

**Prof. Doutor João Manuel Nogueira Malça de Matos
Ferreira**

INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

Coimbra, outubro de 2021



isec

Engenharia

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Projeto de uma instalação frigorífica comercial com reduzido potencial de aquecimento global

Relatório de Trabalho de Projeto para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Mecânica

Especialização em Projeto, Instalação e Manutenção de Sistemas
Térmicos

Autor

Daniel Santos Loureiro

Orientadores

Prof. Doutor Gilberto Cordeiro Vaz

Prof. Doutor João Manuel Nogueira Malça de Matos Ferreira

INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

Coimbra, outubro de 2021

AGRADECIMENTOS

Pelo papel fundamental que várias pessoas desempenharam durante o meu percurso académico na área da Engenharia Mecânica que culmina na realização deste trabalho de projeto, gostaria de endereçar os meus sinceros agradecimentos.

Primeiramente, aos meus pais, pelas diversas oportunidades que me proporcionaram para completar os meus objetivos e pelo apoio incondicional prestado durante o percurso.

Ao Professor Doutor Gilberto Vaz, por ter aceitado orientar o meu trabalho de projeto e pela disponibilidade demonstrada durante a realização do mesmo.

Ao Professor Doutor João Malça, por ter aceitado orientar o meu trabalho de projeto e pela disponibilidade demonstrada durante a realização do mesmo.

Ao Professor Doutor Virgílio Monteiro, pelo voto de confiança que me dirigiu durante o meu segundo ano na Licenciatura em Engenharia Mecânica.

A todos os professores que durante o meu percurso académico procuraram sempre fomentar o pensamento crítico e que, por isso, o seu contributo para a minha formação ultrapassa o programa das unidades curriculares.

Finalmente, aos colegas com quem tive o gosto de partilhar a minha experiência académica e de acompanhar nos momentos de estudo e de trabalho em grupo.

RESUMO

A proposta para este trabalho foi elaborar o projeto de um posto de distribuição alimentar, composto por cais refrigerado e quatro câmaras frigoríficas para diversos produtos em diferentes estados de conservação, tendo em conta o parque industrial corrente do setor. Adicionalmente, estudou-se a otimização do sistema de refrigeração projetado, atualizando-o para as mais recentes imposições regulamentares.

O volume de armazenagem das câmaras frigoríficas calculou-se atendendo à densidade de carga e à necessidade de espaço livre para a circulação do ar e para a estiva. As câmaras frigoríficas são de construção modular sem painel de solo, com paredes e tetos em painéis de poliuretano expandido e pavimento isolado por placas de cortiça expandida. As espessuras dos isolamentos térmicos foram calculadas considerando ganhos térmicos típicos. As cargas térmicas calcularam-se utilizando folha de cálculo desenvolvida pelo autor.

Optou-se por projetar dois sistemas de refrigeração por compressão de vapor com evaporação do tipo expansão direta operando a R404A: um sistema para o cais refrigerado e câmaras de alimentos frescos, com evaporação a média temperatura e outro para as câmaras de alimentos congelados, com evaporação a baixa temperatura. Para dimensionar tubagens e selecionar componentes e equipamentos recorreu-se a aplicações informáticas e catálogos de fabricantes.

O estudo da otimização dos sistemas de refrigeração consistiu em procurar fluidos frigorigéneos alternativos ao R404A, e quantificar a correspondente redução do consumo de energia e do potencial de aquecimento global. Concluiu-se que a conversão dos sistemas de refrigeração de R404A para R448A ou R449A permite reduzir o impacto ambiental de aquecimento global em aproximadamente 45%, para o sistema das câmaras de frescos e em aproximadamente 34%, para o sistema das câmaras de congelados.

Palavras-Chave: Refrigeração, Instalação Frigorífica, Conservação de alimentos
Conversão, Aquecimento Global

ABSTRACT

The proposal for this work was to design a food distribution warehouse, composed of refrigerated dock and four cold rooms for various products in different states of preservation, taking into account current installations of the sector. Additionally, the optimization of the system was studied, updating it to the latest regulatory requirements.

The storage volume of the cold rooms was calculated taking into account the cargo density and the need for free space for air circulation and stowage. The modular construction cold rooms have no soil panel and are built with walls and ceilings in expanded polyurethane panels and the floor is insulated by expanded cork boards. The thicknesses of thermal insulation were calculated considering typical heat gains. The refrigeration loads were calculated using a spreadsheet developed by the author.

It was decided to design two vapour compression refrigeration systems with direct expansion type evaporation using R404A: one system for the refrigerated dock and fresh food cold rooms, with evaporation at medium temperature and another for the frozen food cold rooms, with low temperature evaporation. Pipe sizing and equipment and component selection were made using computer applications and catalogs of several manufacturers.

The study of the refrigeration systems optimization consisted of seeking alternative refrigerants to R404A and quantifying the corresponding reduction of energy consumption and global warming potencial. It was concluded that the conversion of the refrigeration systems from R404A to R448A or R449A allows you to reduce the global warming impact by approximately 45%, for the fresh food cold rooms system and by approximately 34%, for the frozen food cold rooms system.

Keywords: Refrigeration, Refrigerated Facility, Food Preservation, Retrofit, Global Warming

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO.....	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABELAS	vii
SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS.....	viii
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 – ENQUADRAMENTO TEÓRICO	3
2.1 – Conservação de alimentos.....	3
2.2 – Ciclo de compressão de vapor.....	6
2.3 – Fluidos frigorigéneos.....	9
2.3.1 – Enquadramento histórico	9
2.3.2 – Classificação quanto à composição.....	11
2.3.3 – Classificação quanto à segurança	11
2.3.4 – Classificação quanto ao circuito.....	12
2.3.5 – Nomenclatura.....	13
2.4 – Aplicações informáticas	14
2.4.1 – Chemours Refrigerant Expert	14
2.4.2 – Bitzer Software.....	16
2.4.3 – Danfoss Coolselector2.....	17
CAPÍTULO 3 – DIMENSIONAMENTO DAS CÂMARAS FRIGORÍFICAS	18
3.1 – Cálculo do volume de armazenagem.....	18
3.2 – Cálculo do isolamento térmico	20
3.3 – Cálculo das cargas térmicas	22
3.3.1 – Perdas por isolamento	22
3.3.2 – Perdas por arrefecimento do produto	24
3.3.3 – Perdas por respiração do produto.....	26
3.3.4 – Perdas por renovação de ar	28
3.3.5 – Perdas por arrefecimento de embalagens	30
3.3.6 – Perdas por estiva	31
3.3.7 – Perdas por iluminação	33
3.3.8 – Perdas por funcionamento do evaporador.....	34

3.3.9 – Balanço final	35
CAPÍTULO 4 – CONCEÇÃO DOS SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO	36
4.1 – Dimensionamento das tubagens.....	38
4.2 – Seleção de componentes e equipamentos	40
4.2.1 – Compressor e respetivos acessórios	40
4.2.2 – Separador de óleo	42
4.2.3 – Condensador	43
4.2.4 – Depósito de líquido e acessórios	45
4.2.5 – Válvula de expansão.....	45
4.2.6 – Evaporador	46
4.2.7 – Separador de aspiração.....	47
CAPÍTULO 5 – OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO.....	48
5.1 – Alternativas ao fluido R404A.....	50
5.2 – Impacte de aquecimento global (TEWI)	51
5.3 – Verificações precedentes à reconversão	54
5.4 – Custo estimado da reconversão.....	61
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO.....	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
APÊNDICES / ANEXOS.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática da máquina frigorífica	6
Figura 2 - Representação esquemática do ciclo de compressão de vapor	7
Figura 3 - Diagramas T-s e p-h do ciclo de compressão de vapor ideal	8
Figura 4 – Interface gráfica CRE do ciclo de compressão de vapor simples	14
Figura 5 - Interface gráfica CRE de dimensionamento de tubagens	15
Figura 6 – Interface gráfica BS de seleção de compressores	16
Figura 7 - Interface gráfica Cs2 de seleção de componentes	17
Figura 8 - Limites de aplicabilidade dos compressores de frescos (à esq.) e congelados (à dir.).....	56

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação de fluidos frigorigéneos quanto à segurança.....	11
Tabela 2 - Classificação de fluidos frigorigéneos quanto à inflamabilidade	12
Tabela 3 - Condições de cálculo do volume de armazenagem	18
Tabela 4 - Cálculo do volume de armazenagem	19
Tabela 5 - Cálculo do isolamento térmico das paredes e dos tetos	21
Tabela 6 - Cálculo do isolamento térmico dos pavimentos	21
Tabela 7 - Cálculo das perdas por isolamento	23
Tabela 8 - Cálculo das perdas por arrefecimento do produto	25
Tabela 9 - Cálculo das perdas por respiração do produto.....	27
Tabela 10 - Cálculo das perdas por renovação de ar.....	29
Tabela 11 - Cálculo das perdas por estiva	32
Tabela 12 - Cálculo das perdas por iluminação	33
Tabela 13 - Cálculo das perdas por funcionamento do evaporador	34
Tabela 14 - Balanço final.....	35
Tabela 15 - Condições de operação dos evaporadores.....	36
Tabela 16 - Dimensionamento das tubagens.....	38
Tabela 17 - Seleção dos condensadores	44
Tabela 18 - Seleção dos evaporadores.....	47
Tabela 19 - Cálculo do indicador TEWI do sistema das câmaras de frescos.....	52
Tabela 20 - Cálculo do indicador TEWI do sistema das câmaras de congelados	53
Tabela 21 - Variação do desempenho da central de compressores das câmaras de frescos com a alteração do fluido considerado	54
Tabela 22 - Variação do desempenho da central de compressores das câmaras de congelados com a alteração do fluido considerado.....	55
Tabela 23 - Cálculo da capacidade dos condensadores operando a R448A/R449A	56
Tabela 24 - Cálculo da capacidade dos evaporadores operando a R448A/R449A.....	57
Tabela 25 - Cálculo das perdas de carga operando a R449A.....	58
Tabela 26 - Cálculo da velocidade da linha de aspiração operando a R449A	59

SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS

AIRAH – The Australian Institute of Refrigeration, Air conditioning and Heating

AR4 – *Fourth Assessment Report*

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers

BS – Bitzer Software

CFC – Clorofluorocarboneto

CRE – Chemours Refrigerant Expert

Cs2 – Coolselector2

EC – Comissão Europeia

EEA – Agência Europeia do Ambiente

EPS – Poliestireno expandido

GWP – Potencial de aquecimento global

HCFC – Hidroclorofluorocarboneto

HFC – Hidrofluorocarboneto

HFO – Hidrofluorolefina

IPCC – Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas

N.º – Número

ODP – Potencial de depleção da camada do ozono

PUR – Poliuretano

PVC – Policloreto de vinilo

TEWI – Impacte de aquecimento equivalente total

UNEP – Programa das Nações Unidas para o Ambiente

XPS – Poliestireno extrudido

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

O presente relatório foi desenvolvido no âmbito da unidade curricular de Projeto/Estágio/Dissertação do Mestrado em Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.

A atual tendência de aumento da população mundial exige um aumento proporcional da produção alimentar e da conservação de géneros alimentares perecíveis (Monteiro, 2016). A produção de frio artificial destina-se maioritariamente ao setor agroalimentar, nomeadamente à conservação de alimentos, no qual são utilizados tipicamente sistemas de compressão mecânica. Os equipamentos de refrigeração operam segundo o ciclo de compressão de vapor, utilizando fluidos frigorigéneos para proceder às transformações termodinâmicas.

Os impactes ambientais diretos devido à emissão de fluidos frigorigéneos para a atmosfera levaram a alterações drásticas na indústria da refrigeração a partir dos anos noventa do século XX. A associação dos clorofluorocarbonetos (CFC) e dos hidroclorofluorocarbonetos (HCFC) ao empobrecimento da camada do ozono levou à assinatura do Protocolo de Montreal que estabeleceu a eliminação gradual das substâncias com potencial de depleção da camada do ozono (ODP) (UNEP, s.d.). Embora os hidrofluorocarbonetos (HFC), que substituíram os fluidos frigorigéneos clorados, tenham ODP nulo, a atual preocupação prende-se com o seu elevado potencial de aquecimento global (GWP). A Emenda de Kigali e o Regulamento F-gas estabelecem o processo corrente de eliminação gradual de gases fluorados com efeito de estufa a nível mundial e a nível da União Europeia, respetivamente (UNEP, s.d.) (EC, s.d.). O impacte ambiental dos sistemas de refrigeração ao nível do aquecimento global não é apenas direto, relacionado com fugas ou procedimentos de manutenção incorretos, é também indireto, relacionado com a emissão de gases de efeito de estufa durante a produção da energia elétrica que alimenta os equipamentos.

Tendo em conta o aumento das necessidades frigoríficas, o impacte ambiental dos sistemas de refrigeração e as imposições legais relativas à utilização de gases fluorados com efeito de estufa, é necessário procurar substituir os fluidos frigorigéneos atuais por alternativas já existentes no mercado, com menor GWP e energeticamente mais eficientes, não apenas em equipamentos novos, mas também reconvertendo equipamentos já existentes.

Neste contexto, o trabalho desenvolvido consistiu no projeto de um posto de distribuição alimentar. O projeto começou com o cálculo do volume das câmaras frigoríficas, passou pelo cálculo das espessuras de isolamento térmico e pelo cálculo das cargas térmicas e terminou com o dimensionamento das tubagens e seleção de componentes e equipamentos. Adicionalmente, realizou-se o estudo da otimização dos sistemas de refrigeração dessa instalação frigorífica, tendo em atenção os requisitos da regulamentação europeia. A eficiência energética e o impacto de aquecimento global do funcionamento com o fluido frigorígeno inicialmente selecionado foram comparados com fluidos alternativos.

Este documento encontra-se dividido em seis capítulos e segue a seguinte estrutura:

- Capítulo 1 – Enquadra-se o trabalho desenvolvido e apresentam-se os objetivos a atingir com a realização do trabalho e a estrutura do relatório.
- Capítulo 2 – Trata-se o tema da refrigeração de várias perspetivas e apresentam-se as aplicações informáticas utilizadas no desenvolvimento do projeto.
- Capítulo 3 – Descrevem-se e justificam-se os cálculos realizados para dimensionamento das câmaras frigoríficas.
- Capítulo 4 – Apresentam-se o dimensionamento das tubagens e a seleção de componentes e equipamentos.
- Capítulo 5 – Apresenta-se o estudo da otimização dos sistemas de refrigeração.
- Capítulo 6 – Sintetizam-se os conhecimentos empregues na realização deste trabalho de projeto e as principais conclusões.

CAPÍTULO 2 – ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Este capítulo trata o tema da refrigeração na perspetiva da conservação de alimentos e dos conceitos termodinâmicos empregues, onde se incluem os fluidos frigoríficos. São também apresentadas as aplicações informáticas utilizadas no projeto dos sistemas de refrigeração.

2.1 – Conservação de alimentos

A refrigeração é fundamental no setor agroalimentar, sendo aplicada no arrefecimento, na conservação, na congelação e no processamento de alimentos.

A conservação de alimentos consiste em controlar o ambiente interno ou envolvente ao produto, produzindo condições que eliminem os agentes de putrefação ou que anulem a sua atividade, com o fim de preservar os alimentos perecíveis em condições aceitáveis de consumo por um determinado tempo. Embora existam outros métodos de conservação de géneros alimentícios, nomeadamente a conserva, a secagem, a salga, a desoxidação e a defumagem, a conservação por refrigeração é o único método que preserva o sabor, o aspeto e a textura originais dos alimentos.

A conservação por refrigeração, ou conservação em fresco, é o método de conservação que extrai o calor dos alimentos, arrefecendo os produtos sem que seja atingido o ponto de congelação, como meio de retardar a ação de enzimas e de microrganismos. Quando o período de conservação é longo, os produtos são sujeitos a um processo de congelação e, posteriormente, são armazenados a temperaturas menores ou iguais a -18 °C. A armazenagem refrigerada é assegurada, desde a produção até ao consumidor final, por diversos equipamentos (cadeia de frio). Os equipamentos de refrigeração doméstica que garantem as condições de conservação dos produtos na habitação dos consumidores são os frigoríficos e as arcas congeladoras. A montante do ponto de consumo final, encontram-se os equipamentos de refrigeração comercial, nomeadamente as câmaras frigoríficas.

As câmaras frigoríficas podem ser classificadas, quanto à sua construção, como:

- Câmara frigorífica compacta
- Câmara frigorífica modular
- Câmara frigorífica em alvenaria

As câmaras compactas são de construção semelhante às câmaras modulares. Estas câmaras frigoríficas são construídas em painéis do tipo sanduíche constituídos

por duas chapas metálicas envolvendo o isolamento de espuma rígida de poliuretano (PUR). O isolamento de poliuretano expandido segue aproximadamente as seguintes características técnicas: Massa volúmica de $40 \pm 3 \text{ kg/m}^3$, condutibilidade térmica de $0,023 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, classe 0,11 a 150 Pa de permeabilidade ao ar (EN 12114) e classe A a 1200 Pa de estanquidade à água (EN 12865). As chapas de aço galvanizado que envolvem o isolamento podem ser lisas ou nervuradas, para ganho de resistência. A espessura da chapa varia entre 0,60 e 0,80 mm e é comum ser revestida com lacagem a quente, com verniz poliéster ou com resina epoxídica, ou ser em aço inoxidável com acabamento polido (Monteiro, 2016).

As câmaras frigoríficas podem ser construídas com ou sem painel de solo. Quando se recorre à estiva mecânica a opção terá que ser pela construção sem solo e quando a estiva é manual não há qualquer restrição. Os painéis de solo podem ser de construção normal ou reforçada internamente por placas de madeira prensada. A face interna dos painéis pode ser revestida por resina fenólica ou aço inoxidável antiderrapante. Os painéis de solo devem assentar sobre perfis metálicos para evitar o contacto da sua face exterior com o solo e a infiltração de água. Quando a solução escolhida é a construção sem painel de solo, torna-se necessário intervir no pavimento. A câmara frigorífica deve ser construída sobre abobadilhas ocas ou tubos de betão, para ventilação e escoamento de águas. A instalação de barreira de vapor é essencial, para prevenir a migração de água do solo para o isolamento. O pavimento deve também ser isolado e impermeabilizado (Monteiro, 2016).

Para o acesso às câmaras, existem vários tipos de porta disponíveis, nomeadamente, as portas pivotantes, as portas deslizantes, as portas basculantes, as portas de vaivém e as portas de enrolar. O acionamento das portas pode ser manual ou automático, privilegiando-se o último em caso de estiva mecânica (Monteiro, 2016).

A principal característica das câmaras compactas é o seu fornecimento com o sistema de refrigeração pré-montado e sob a filosofia *plug and play*. O sistema de refrigeração das câmaras compactas pode ter a unidade condensadora e a unidade interior juntas (sistema compacto) ou separadas (sistema *split*), sendo no segundo caso necessário efetuar as ligações das tubagens de fluido frigorígeno e de esgoto e as ligações elétricas. O sistema de refrigeração das câmaras modulares é concebido à medida para a instalação frigorífica em específico. As câmaras modulares têm um custo de investimento superior ao das câmaras compactas, mas, devido ao consumo energético inferior, têm menores custos de operação e de ciclo de vida (Monteiro, 2016).

As câmaras em alvenaria eram construídas antes da generalização da construção em painéis do tipo sanduíche. As paredes e o teto eram construídos em betão com acabamento liso, onde era aplicada a barreira de vapor. As placas de isolamento eram coladas à parede. Uma tela metálica era fixada a grampos metálicos fixos nas paredes e tetos, para dar suporte mecânico ao reboco final. O revestimento

interno das câmaras frigoríficas era em tinta plástica. A solução construtiva do pavimento era idêntica à das câmaras modulares. Os materiais de isolamento empregues mais frequentemente eram os seguintes: Aglomerado negro de cortiça, poliestireno expandido (EPS), poliestireno extrudido (XPS), poliuretano (PUR), policloreto de vinilo (PVC), lã de vidro e lã de rocha (Monteiro, 2016).

2.2 – Ciclo de compressão de vapor

A Refrigeração é a área da Termodinâmica que visa a transferência de calor de um meio a uma temperatura mais baixa para outro a uma temperatura mais elevada (Çengel e Boles, 2006).

Os equipamentos que mantêm os espaços refrigerados a baixa temperatura, chamam-se máquina frigorífica e operam segundo um ciclo frigorífico cujo fluido operante se designa fluido frigorigéneo. A máquina frigorífica é representada esquematicamente na figura 1, onde Q_L é o calor retirado do espaço refrigerado, Q_H é o calor rejeitado para o ambiente quente e $W_{net,in}$ é o trabalho líquido fornecido ao equipamento.

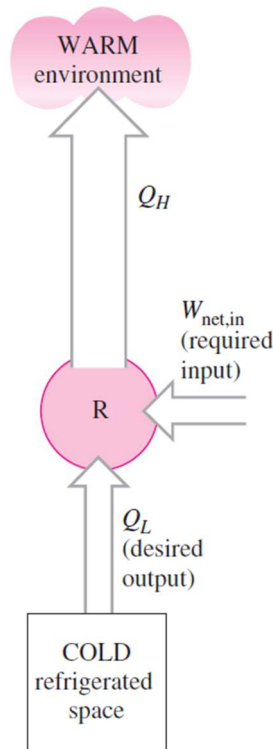


Figura 1 - Representação esquemática da máquina frigorífica (Çengel e Boles, 2006)

O desempenho energético das máquinas frigoríficas expressa-se pelo rácio Energy Efficiency Ratio (EER), definido pela equação:

$$EER = \frac{\text{Resultado desejado}}{\text{Fornecimento necessário}} = \frac{Q_L}{W_{net,in}} \quad (1)$$

O ciclo frigorífico mais comum é o ciclo de compressão de vapor. Este ciclo termodinâmico consiste em evaporar e condensar o fluido frigorigéneo alternadamente e comprimi-lo na fase de vapor. Representa-se esquematicamente na figura 2.

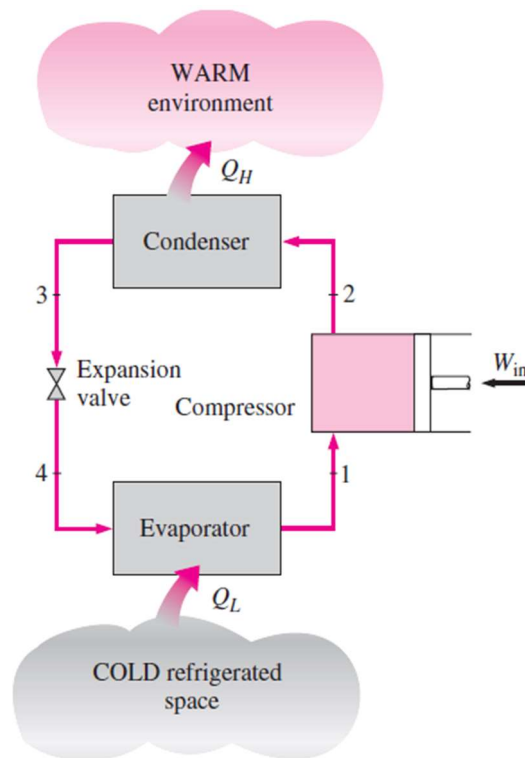


Figura 2 - Representação esquemática do ciclo de compressão de vapor (Çengel e Boles, 2006)

O ciclo de compressão de vapor ideal consiste em quatro processos:

- 1-2 Compressão isentrópica
- 2-3 Condensação isobárica
- 3-4 Expansão isentálpica
- 4-1 Evaporação isobárica

No ciclo de compressão de vapor ideal, o fluido frigorigéneo entra no compressor no estado de vapor saturado (ponto 1) e é comprimido até à pressão de condensação (ponto 2), num processo a entropia constante onde a temperatura do fluido sobe acima da temperatura ambiente. O fluido frigorigéneo entra no condensador no estado de vapor sobreaquecido (ponto 2), rejeita calor para o ambiente, condensa a pressão constante e sai no estado de líquido saturado (ponto 3). À saída do condensador, a temperatura do fluido mantém-se acima da temperatura ambiente. O fluido frigorigéneo expande a entalpia constante até à pressão de evaporação (ponto 4) pela sua passagem por um dispositivo de expansão e a sua

temperatura desce abaixo da temperatura do espaço refrigerado. O fluido frigorigéneo entra no evaporador no estado de vapor húmido (ponto 4), absorve calor do espaço refrigerado, evapora a pressão constante, saindo no estado de vapor saturado (ponto 1) e reentra no compressor, completando o ciclo termodinâmico.

Os diagramas T-s e p-h do ciclo de compressão de vapor ideal são apresentados na figura 3.

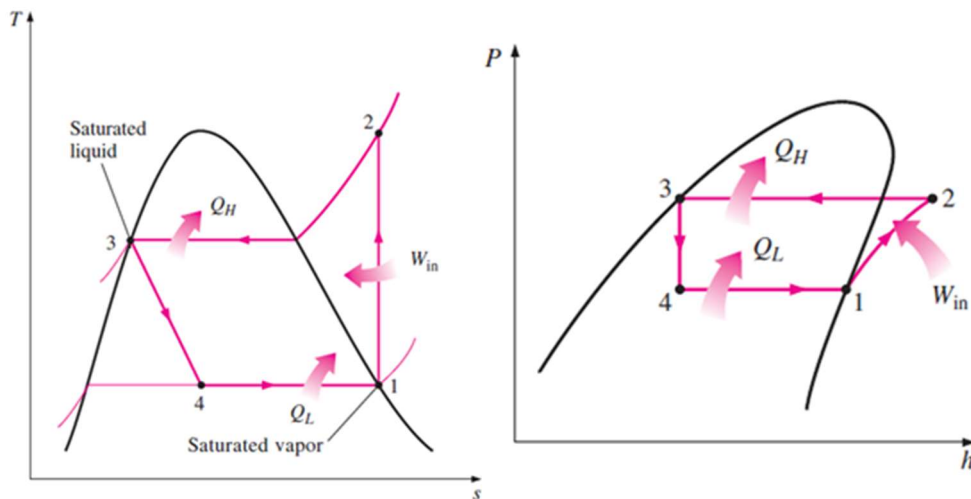


Figura 3 - Diagramas T-s e p-h do ciclo de compressão de vapor ideal
(Çengel e Boles, 2006)

O ciclo de compressão de vapor real tem várias diferenças relativamente ao ciclo ideal. O processo de compressão ideal é internamente reversível e adiabático e, por isso, isentrópico, já o processo de compressão real envolve irreversibilidades, que aumentam a entropia, tais como atrito nas válvulas e transferência de calor das paredes dos cilindros para o fluido. No ciclo ideal, o fluido sai do evaporador e entra no compressor no estado de vapor saturado, mas, na prática, para proteção do compressor contra golpes de líquido, o fluido frigorigéneo entra no compressor no estado de vapor sobreaquecido. No ciclo ideal, o fluido sai do condensador no estado de líquido saturado, mas, na realidade, para garantir a alimentação do fluido ao dispositivo de expansão completamente no estado líquido, o fluido é subarrefecido.

A tubagem de ligação do evaporador ao compressor (linha de aspiração) impõe perda de carga e há transferência de calor do ambiente para o fluido frigorigéneo. As tubagens de ligação do compressor ao condensador (linha de descarga) e do condensador ao evaporador (linha de líquido) impõem perdas de carga e há transferência de calor do fluido frigorigéneo para o ambiente. Os permutadores de calor (condensador e evaporador) além de terem diferenciais de temperatura finitos também impõem perdas de carga.

2.3 – Fluidos frigorígenos

2.3.1 – Enquadramento histórico

A história do desenvolvimento dos fluidos frigorígenos divide-se em quatro gerações (McLinden, et al., 2020). A primeira geração de fluidos frigorígenos integra os fluidos operantes utilizados em máquinas frigoríficas desde o início da refrigeração artificial, nos anos trinta do século XIX, até ao surgimento da segunda geração, nos anos trinta do século XX. As restrições à utilização de qualquer fluido eram apenas de operabilidade e disponibilidade da substância tanto que a maioria dos fluidos frigorígenos eram ou inflamáveis, ou tóxicos ou mesmo ambos. Durante este período, a refrigeração era aplicada principalmente na indústria de produção de gelo, onde o fluido frigorígeno mais utilizado era o amoníaco (R717). No final deste período surgem o primeiro chiller centrífugo e o primeiro frigorífico doméstico. O fluido selecionado para o chiller foi o 1,2-Dicloroetano (R1130(E)) enquanto os primeiros equipamentos de refrigeração doméstica utilizavam o dióxido de enxofre (R764), o metanoato de metilo (R611), o amoníaco (R717) ou o clorometano (R40) (McLinden, et al., 2020).

A segunda geração de fluidos frigorígenos surge, nos anos trinta do século XX, da procura por um fluido frigorígeno com ponto de ebulição entre 0 e -40 °C, estável, não tóxico e não inflamável, que revolucionasse o mercado da refrigeração doméstica. Em 1931 e 1932 começa a produção comercial dos fluidos R12 e R11, respetivamente. Durante os anos trinta, quarenta e cinquenta, são desenvolvidos e comercializados vários clorofluorocarbonetos (CFC) e hidroclorofluorocarbonetos (HCFC), entre os quais o R22, um HCFC que foi utilizado vastamente em equipamentos de ar-condicionado e bombas de calor. O amoníaco (R717) continuou a ser o fluido frigorígeno preferido na refrigeração industrial, posição na qual ainda hoje se mantém. Em 1974, foi proposta a hipótese do empobrecimento da camada do ozono pelos fluidos clorados que foi corroborada posteriormente por diversos estudos. Em 1987, em resposta à preocupação internacional relativa ao buraco da camada do ozono sobre a Antártida, foi assinado o Protocolo de Montreal que estabeleceu como objetivo a eliminação gradual de todos os CFC e de alguns HCFC (McLinden, et al., 2020).

A terceira geração de fluidos frigorígenos é a resposta da indústria às imposições do Protocolo de Montreal. Esta geração integra os HCFC de transição e os hidrofluorocarbonetos (HFC) que surgem no mercado nos anos 90. Em sistemas de ar condicionado automóvel e refrigeração doméstica, o HFC R134a substituiu o CFC R12; as misturas de HFC R407C e R410A substituíram o HCFC R22, em sistemas de ar condicionado e bombas de calor; e sistemas de refrigeração comercial habitualmente a R502 ou R22 passaram a operar a misturas de HFC R404A ou R507A (Monteiro, 2015).

Em resposta ao problema do aquecimento global, a União Europeia (UE) apresentou em 2006 e reviu em 2014 o Regulamento F-gas, relativo aos gases fluorados com efeito de estufa, e a Diretiva MAC, relativa aos sistemas de ar condicionado de veículos a motor. A quarta geração de fluidos frigorigéneos nasce da legislação europeia e de acordos internacionais relativos à redução das emissões de gases com efeito de estufa.

O regulamento F-gas impõe a redução da quantidade de HFC (equivalente de CO₂) colocada no mercado da União Europeia para 21% do valor de 2015, até 2030. A Diretiva MAC banuiu o uso de fluidos frigorigéneos com GWP superior a 150 em todos os veículos novos a partir de 2017. Consequentemente, é restringida a aplicação do fluido R134a (GWP = 1430) habitualmente utilizado em sistemas de ar condicionado automóvel. O fluido frigorigéneo desenvolvido como alternativa foi a hidrofluorolefina (HFO) R1234yf (GWP = 4).

Os fluidos HFO R1234yf e R1234ze(E) (GWP = 7) são utilizados como componentes das misturas de HFC/HFO que surgem como alternativas aos fluidos frigorigéneos da terceira geração. É importante a distinção entre fluidos alternativos não inflamáveis e inflamáveis, já que os primeiros se destinam tanto a conversões como a novos sistemas e os segundos apenas se destinam a novos sistemas. Alguns fluidos frigorigéneos apresentados como alternativa ao R404A (GWP = 3922) e R507A (GWP = 3985) são os fluidos inflamáveis R454C (GWP = 148) e R455A (GWP = 148) e os fluidos não inflamáveis R448A (GWP = 1387) e R449A (GWP = 1397). Para o R134a, algumas alternativas com baixo potencial de aquecimento global são os fluidos não inflamáveis R513a (GWP = 631) e R450A (GWP = 605) e as alternativas inflamáveis são as HFO mencionadas anteriormente.

2.3.2 – Classificação quanto à composição

Relativamente à sua composição, os fluidos frigorigéneos podem ser classificados como:

- **Substância pura:** Fluido constituído por apenas um composto químico. Quando ocorre mudança de fase a pressão constante, a temperatura também é constante.
- **Mistura azeotrópica:** Fluido constituído por dois ou mais compostos químicos diferentes. As fases de vapor e de líquido têm a mesma composição a uma dada pressão. Em mudança de fase comporta-se como uma substância pura.
- **Mistura zeotrópica:** Fluido constituído por dois ou mais compostos químicos diferentes. Quando ocorre mudança de fase a pressão constante, a composição volumétrica e a temperatura de saturação variam (deslizamento de temperatura).
- **Mistura quase-azeotrópica:** Mistura zeotrópica com deslizamento de temperatura desprezável.

2.3.3 – Classificação quanto à segurança

Os fluidos frigorigéneos são classificados, segundo a norma ASHRAE 34-2019, *Designation and Safety Classification of Refrigerants*, em oito grupos de segurança, de acordo com os seus graus de inflamabilidade e toxicidade (ASHRAE, 2019).

Tabela 1 - Classificação de fluidos frigorigéneos quanto à segurança

	Baixa toxicidade	Alta toxicidade
Alta inflamabilidade	A3	B3
Inflamável	A2	B2
Baixa inflamabilidade	A2L	B2L
Sem propagação de chama	A1	B1

Aos fluidos é atribuída uma de duas classes relativamente à toxicidade, A ou B, e uma de quatro classes relativamente à inflamabilidade, 1, 2L, 2 ou 3.

A classe A é atribuída a fluidos cuja exposição repetida durante oito horas diárias e quarenta horas semanais a concentrações iguais ou superiores a 400 ppm provoca efeitos adversos. Atribui-se a classe B quando o limite de exposição profissional é inferior a 400 ppm.

A classificação relativa à inflamabilidade depende de quatro fatores: (1) propagação de chama; (2) limite inferior de inflamabilidade; (3) poder calorífico inferior; e (4) velocidade de chama.

Tabela 2 - Classificação de fluidos frigorigéneos quanto à inflamabilidade

	1	2L	2	3
Propagação de chama (60 °C e 101,3 kPa)	Não	Sim	Sim	Sim
Limite inferior de inflamabilidade	-	> 0,10 kg/m ³	> 0,10 kg/m ³	≤ 0,10 kg/m ³
Poder calorífico inferior (23 °C e 101,3 kPa)	-	< 19 MJ/kg	< 19 MJ/kg	≥ 19 MJ/kg
Velocidade de chama (23 °C, 101,3 kPa e ar seco)	-	≤ 10 cm/s	-	-

2.3.4 – Classificação quanto ao circuito

Os fluidos frigorigéneos são ainda classificados, em função do circuito no qual circulam, como:

- **Fluido primário:** Fluido operante da máquina frigorífica. Por exemplo, amoníaco (R717), R134a e R404A.
- **Fluido secundário:** Fluido intermédio utilizado na transferência de calor indireta entre o fluido primário e o meio a arrefecer. Por exemplo, soluções água-glicol e salmouras.

2.3.5 – Nomenclatura

A norma ASHRAE 34-2019, *Designation and Safety Classification of Refrigerants*, desenvolve um método de numeração de fluidos frigorigêneos, iniciando-se a designação pela letra R, da palavra *Refrigerant*.

A designação dos hidrocarbonetos e halocarbonetos das séries metano, etano, etileno, propano, propileno, butano, buteno e ciclobutano seguem, genericamente, a forma: R [n] [C-1] [H+1] [F] [i] [s]. [F] é o número de átomos de flúor, [H+1] é o número de átomos de hidrogénio mais um, [C-1] é o número de átomos de carbono menos um (omitido quando o número é zero), [n] é o número de ligações insaturadas (também omitido quando o número é zero), [i] é um sufixo aplicado quando é necessário distinguir entre isómeros e [s] é um segundo sufixo aplicado quando é necessário distinguir entre estereoisómeros. Exemplos de fluidos que seguem esta designação são o R123, o R134a e o R1234ze(E).

As misturas zeotrópicas são integradas na série 400 e as misturas azeotrópicas são integradas na série 500. Para diferenciar entre misturas com os mesmos compostos químicos, mas com composições diferentes é adicionada, como sufixo, uma letra maiúscula. Uma mistura zeotrópica e outra azeotrópica são os fluidos R404A e R507A, respetivamente.

A diversos compostos orgânicos é atribuído um número de identificação da série 600. A distinção entre isómeros é feita com recurso a uma letra minúscula, em sufixo. Um hidrocarboneto que integra esta série é por exemplo, o isobutano, R600a.

Os compostos inorgânicos integram as séries 700 e 7000. O número de identificação corresponde à soma de setecentos com a massa molar relativa e a distinção entre dois fluidos com o mesmo número faz-se com uma letra maiúscula, em sufixo. Um fluido da série 700 é o dióxido de carbono, R744.

2.4 – Aplicações informáticas

2.4.1 – Chemours Refrigerant Expert

A aplicação Chemours Refrigerant Expert (CRE) foi utilizada para dimensionar as tubagens dos sistemas de refrigeração.

A aplicação permite escolher entre quatro variações do ciclo de compressão de vapor: (1) ciclo de compressão de vapor simples; (2) ciclo de compressão de vapor com permutador de calor; (3) ciclo de compressão de vapor em cascata; e (4) bomba de calor. Depois de selecionado o ciclo termodinâmico, o programa abre uma interface gráfica (figura 4), na qual se seleciona o fluido frigorigéneo e se introduzem os diversos parâmetros do ciclo termodinâmico.

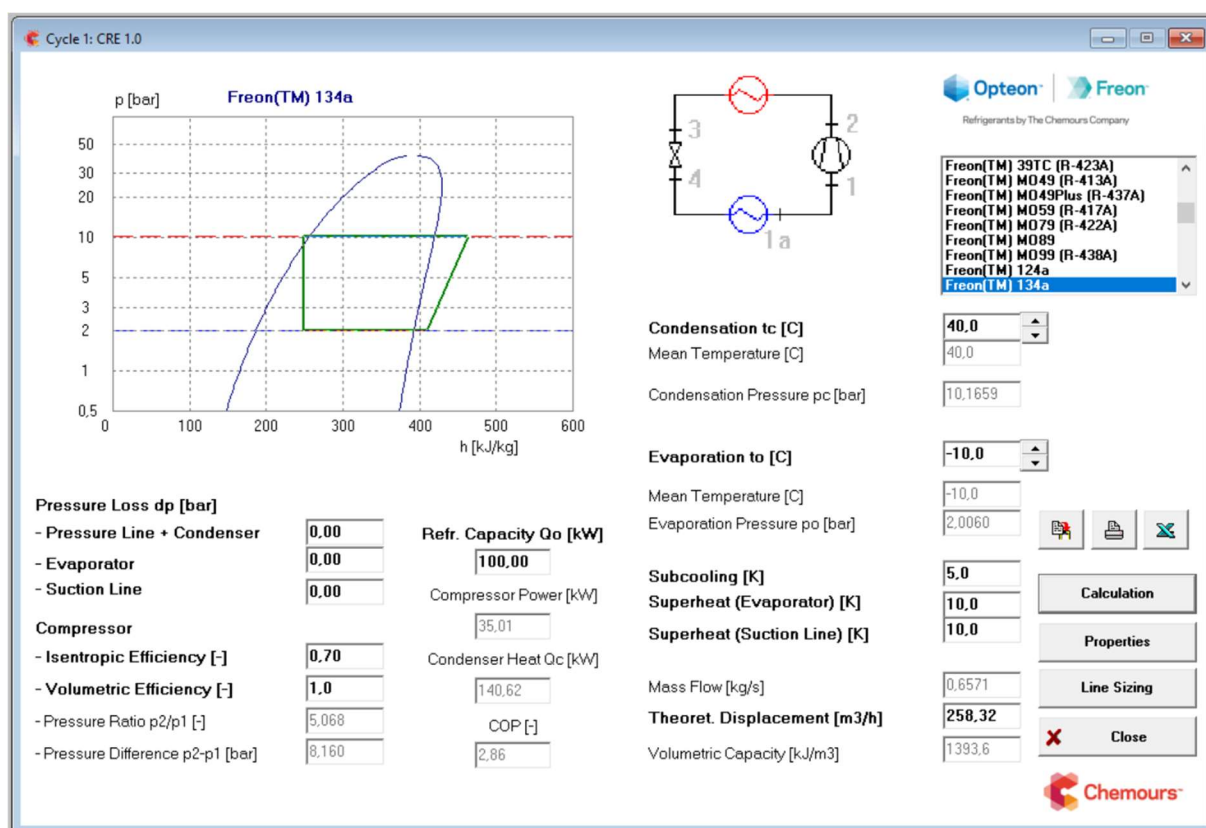
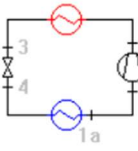


Figura 4 – Interface gráfica CRE do ciclo de compressão de vapor simples

Acede-se à interface gráfica de dimensionamento das tubagens (figura 5) pressionando o botão “Line Sizing”. O primeiro passo do dimensionamento é a seleção do material do tubo: Cobre ou aço. O segundo passo consiste em introduzir o critério de dimensionamento, seja o critério de velocidade ou de perda de carga. O programa calculará o diâmetro interior de tubo que satisfaz o critério. Como o diâmetro calculado não corresponde necessariamente a um tubo disponível comercialmente, o último

passo é selecionar o tubo normalizado cujo diâmetro interior é o imediatamente superior ao calculado.

Cycle 1: Line sizing



Standard: EN 12735-1
Material: Cu

Freon(TM) 134a

Process properties

Evaporation temperature	-10,00	C
Mean suction gas temperature	5,00	C
Mean discharge temperature	80,80	C
Condensation temperature	40,00	C
Liquid subcooling	5,00	K
Cooling capacity	100,00	kW

Suction line	Liquid line	Discharge line
Suction line / Cu / EN 12735-1 / Equivalent length		
Next smaller pipe	Inside diameter [mm]	Next larger pipe
64,00 x 2,00 (di = 60,00 mm)	67,57	76,00 x 2,00 (di = 72,00 mm)
	Velocity [m/s]	
24,83	19,58	17,25
	Equivalent length [K/m]	
0,07	0,04	0,03
	Pressure drop [Pa/m]	
567,57	316,57	231,97
	Total pressure drop [K]	
0,72	L = 10,00 m dp = 0,40 K	0,29

inch dp bar

Close

Figura 5 - Interface gráfica CRE de dimensionamento de tubagens

2.4.2 – Bitzer Software

O programa Bitzer Software (BS) foi utilizado para selecionar os compressores dos sistemas de refrigeração.

O programa permite selecionar entre vários equipamentos do fabricante Bitzer, nomeadamente, compressores alternativos, compressores de parafuso, compressores *scroll* e condensadores arrefecidos a água. Quando se seleciona o tipo de compressor, o programa abre uma interface gráfica na qual se seleciona o fluido frigorigéneo, o método de controlo da capacidade e a frequência da rede elétrica, e se introduzem os parâmetros do ciclo de compressão de vapor. Pressionando o botão “Parallel compound”, o programa permite também selecionar compressores em paralelo. Neste caso, a interface gráfica (figura 6) exige a introdução do número de compressores e da distribuição da capacidade frigorífica pelos compressores.

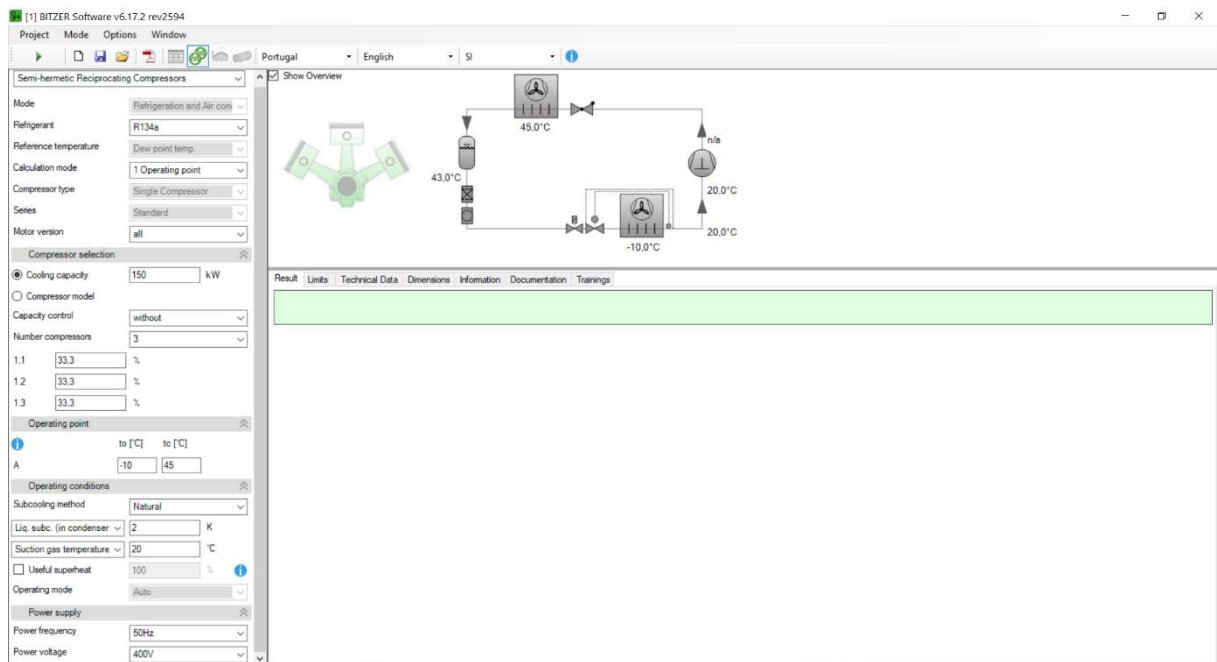


Figura 6 – Interface gráfica BS de seleção de compressores

2.4.3 – Danfoss Coolselector2

O programa Coolselector2 (Cs2) da Danfoss foi utilizado para selecionar vários componentes dos sistemas de refrigeração.

O programa permite selecionar diversos componentes do fabricante Danfoss, nomeadamente, válvulas de expansão, válvulas de solenoide e filtros secadores. Primeiramente, é necessário escolher a linha de fluido frigorígeno para a qual se pretende selecionar os componentes. O programa apresenta uma interface gráfica (figura 7) na qual se introduzem os parâmetros do ciclo de compressão de vapor e se selecionam os componentes pretendidos para a linha de fluido frigorígeno em questão.

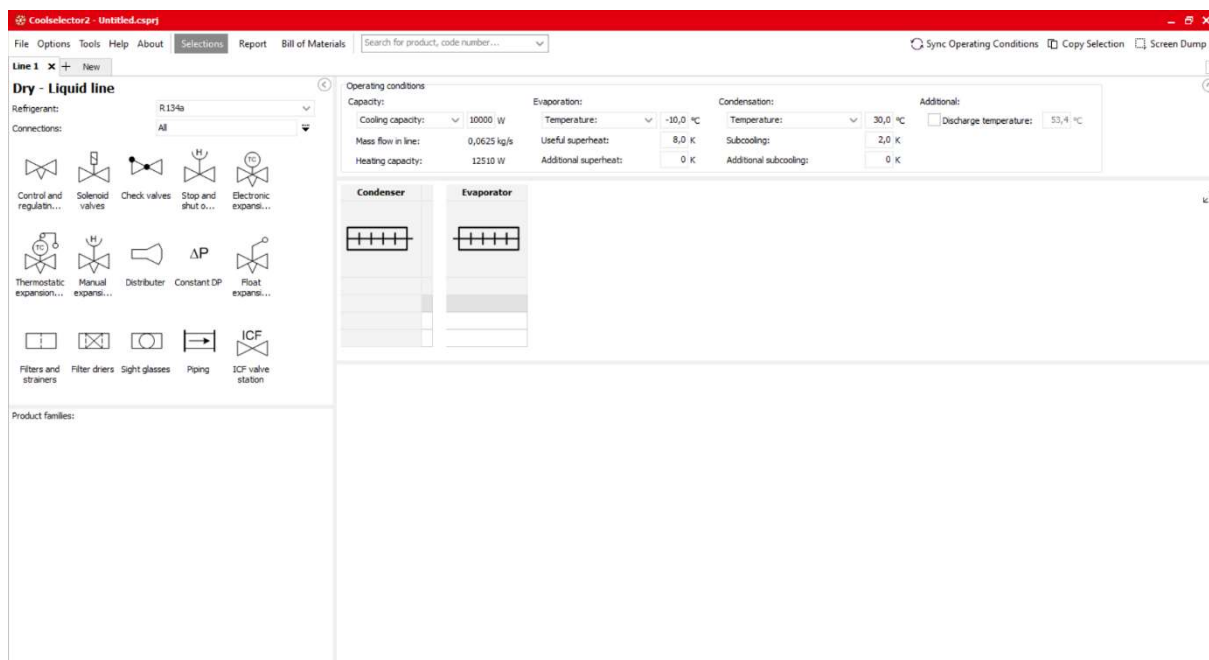


Figura 7 - Interface gráfica Cs2 de seleção de componentes

CAPÍTULO 3 – DIMENSIONAMENTO DAS CÂMARAS FRIGORÍFICAS

Este capítulo descreve e justifica os cálculos do volume de armazenagem, da espessura de isolamento térmico e das cargas térmicas em cada uma das câmaras frigoríficas consideradas.

3.1 – Cálculo do volume de armazenagem

As condições consideradas no cálculo do volume de armazenagem são apresentadas na tabela 3.

Tabela 3 - Condições de cálculo do volume de armazenagem

Câmara n.º	Género alimentício	Estado de conservação	Entrada diária [t/dia]	Rotação diária (%)
1	Peixe e marisco	Fresco	14	10
2	Frutos e verduras	Fresco	12,5	10
3	Carne de aves	Congelado	23	10
4	Peixe	Congelado	25,5	10

O volume interno mínimo das câmaras frigoríficas foi calculado seguindo o Método das Massas a Armazenar (Monteiro, 2016). Este método relaciona a capacidade mínima da câmara com quatro variáveis: (1) massa de produto a conservar; (2) densidade de carga; (3) fator de circulação de ar; e (4) fator de circulação de pessoas e equipamentos.

A massa de produto a conservar determinou-se sabendo a carga de géneros alimentícios que é introduzida diariamente na câmara (Entrada diária) e a fração da massa total de produto à qual a entrada diária corresponde (Rotação diária). A densidade de carga representa a massa de géneros alimentícios que podem ser corretamente acondicionados por unidade de volume de armazenagem. O fator de circulação de ar toma o valor de 1,33 para as câmaras frigoríficas e corresponde a um incremento de um terço da capacidade de armazenagem, necessário para uma correta circulação do ar no interior da câmara, que garanta o contacto do ar com a superfície de todos os alimentos e a inexistência de espaços com ar estagnado. O fator de circulação de pessoas e equipamentos toma o valor de 2,25 e representa o

espaço necessário para a livre circulação de pessoas e a manobra de empilhadores no interior da câmara frigorífica.

O volume interno mínimo calcula-se pela equação:

$$V_{\min} = \frac{m}{D_c} \cdot F_c \cdot F_p \quad (2)$$

Onde:

$V_{\min}$	Volume mínimo da câmara	[m ³]
m	Massa de produto a conservar	[kg]
D_c	Densidade de carga	[kg/m ³]
F_c	Fator de circulação de ar	1,33 (adim.)
F_p	Fator de circulação de pessoas e equipamentos	2,25 (adim.)

Em concordância com o recomendado, optou-se pelos limites superiores dos intervalos de valores de densidade de carga propostos porque o tempo de armazenagem é curto (Monteiro, 2016). Os resultados do cálculo do volume de armazenagem e as dimensões do cais refrigerado são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 - Cálculo do volume de armazenagem

Espaço refrigerado	m [t]	D_c [kg/m³]	V_{mín} [m³]	Volume [m³]	C x L x A [m] x [m] x [m]
Câmara 1	140	300	1397	1400	20 x 10 x 7
Câmara 2	125	270	1385	1400	20 x 10 x 7
Câmara 3	230	500	1377	1400	20 x 10 x 7
Câmara 4	255	550	1387	1400	20 x 10 x 7
Cais refrigerado	-				40 x 5 x 5

m: Massa de produto a conservar; **D_c**: Densidade de carga; **V_{mín}**: Volume mínimo da câmara; **C x L x A**: Comprimento x Largura x Altura.

3.2 – Cálculo do isolamento térmico

Os valores de ganho de calor pela envolvente considerados normais situam-se entre 10 e 13 W/m² para câmaras de frescos e entre 8 e 10 W/m² para câmaras de congelados (Coldkit, s.d.). Optou-se por calcular as espessuras de isolamento para os limites inferiores dos intervalos de valores de ganhos térmicos apresentados, como medida de eficiência energética. No cálculo, considerou-se condutibilidade térmica de 0,023 W/(m·K), para o poliuretano expandido e de 0,043 W/(m·K) para o aglomerado de cortiça expandida (ASHRAE, 2017). Para os coeficientes de transferência de calor por convecção interna e por convecção externa considerou-se o valor de 9,1 W/(m²·K) (ASHRAE, 2018).

Para determinar as condições termohigrométricas exteriores de projeto recorreu-se à aplicação CLIMAS-SCE que apresenta dados climáticos disponibilizados pelo LNEG. A temperatura exterior corresponde à média mais alta da temperatura de bolbo seco para três dias consecutivos e a temperatura do solo à média anual da temperatura do solo (ASHRAE, 2018). A humidade relativa exterior corresponde à humidade relativa média dos mesmos três dias considerados no cálculo da temperatura exterior. A instalação localiza-se no município da Figueira da Foz e as condições termohigrométricas exteriores de projeto são: Temperatura de bolbo seco de 30,3 °C, humidade relativa de 49% e temperatura do solo de 15,5 °C.

Os resultados do cálculo do isolamento térmico são apresentados nas tabelas 5 e 6.

Tabela 5 - Cálculo do isolamento térmico das paredes e dos tetos

Espaço refrigerado	T_{int. mín.} [°C]	ΔT [K]	q_{máx.} [W/m²]	U_{máx.} [W/(m²·K)]	e_{mín.} [mm]	e [mm]
Câmara 1	-1	31,3	10	0,3195	66,9	80
Câmara 2	+1	29,3	10	0,3413	62,3	80
Câmara 3	-18	48,3	8	0,1656	133,8	140
Câmara 4	-18	48,3	8	0,1656	133,8	140
Cais refrig.	+10	20,3	10	0,4926	41,6	50

Tabela 6 - Cálculo do isolamento térmico dos pavimentos

Espaço refrigerado	T_{int. mín.} [°C]	ΔT [K]	q_{máx.} [W/m²]	U_{máx.} [W/(m²·K)]	e_{mín.} [mm]	e [mm]
Câmara 1	-1	16,5	10	0,6061	70,9	80
Câmara 2	+1	14,5	10	0,6897	62,3	80
Câmara 3	-18	33,5	8	0,2388	180,1	200
Câmara 4	-18	33,5	8	0,2388	180,1	200
Cais refrig.	+10	5,5	10	1,8182	23,6	40

Legenda:

T _{int. mín.}	Temperatura interior mínima
ΔT	Diferencial de temperatura
q _{máx.}	Ganho térmico pela envolvente máximo
U _{máx.}	Coeficiente global de transferência de calor máximo
e _{mín.}	Espessura de isolamento mínima
e	Espessura de isolamento selecionada

3.3 – Cálculo das cargas térmicas

A carga térmica total divide-se em oito cargas térmicas parciais: Perdas por isolamento, perdas por arrefecimento do produto, perdas por respiração do produto, perdas por renovação de ar, perdas por arrefecimento das embalagens, perdas por estiva, perdas por iluminação e perdas por funcionamento do evaporador (Monteiro, 2016). No final do cálculo, para determinação da carga térmica total afeta-se o somatório das cargas térmicas parciais de um coeficiente de segurança, que acautela a existência de divergências entre as condições de projeto e as condições reais de operação (ASHRAE, 2018).

3.3.1 – Perdas por isolamento

As perdas por isolamento dizem respeito à transferência de calor através de paredes, teto e pavimento da câmara frigorífica.

Esta carga térmica parcial calcula-se pela equação:

$$\dot{Q}_A = \sum_{i=1}^6 \left[\frac{C \cdot L \cdot U \cdot (T_{\text{ext.}} - T_{\text{int.}}) \cdot 24}{t_{\text{func.}}} \right]_i \quad (3)$$

Onde:

$\dot{Q}_A$	Perdas por isolamento	[W]
C	Comprimento do elemento da envolvente	[m]
L	Largura do elemento da envolvente	[m]
U	Coef. global de transf. de calor do elemento da envolvente	[W/(m ² ·K)]
T _{ext.}	Temperatura exterior ao elemento da envolvente	[°C]
T _{int.}	Temperatura interior mínima da câmara frigorífica	[°C]
t _{func.}	Tempo de funcionamento do compressor	[h]

O tempo de funcionamento toma o valor de 16 h, considerando a necessidade de proceder a ciclos de descongelação do evaporador (Creus, 1978).

Os resultados do cálculo desta carga térmica parcial são apresentados na tabela 7.

Tabela 7 - Cálculo das perdas por isolamento

Espaço refrig.	A_{teto + par.} [m²]	U_{teto + par.} [W/(m²·K)]	A_{pav.} [m²]	U_{pav.} [W/(m²·K)]	T_{int.} [°C]	t_{func.} [h]	Q_A [W]
Câm. 1	620	0,2704	200	0,5375	-1	16	9100
Câm. 2	620	0,2704	200	0,5375	+1	16	6818
Câm. 3	620	0,1586	200	0,2150	-18	16	7672
Câm. 4	620	0,1586	200	0,2150	-18	16	8077
Cais refrig.	650	0,4178	200	1,075	+10	16	5462

Legenda:

A _{teto + par.}	Área do teto e das paredes
U _{teto + par.}	Coef. global de transf. de calor do teto e das paredes
A _{pav.}	Área do pavimento
U _{pav.}	Coef. global de transf. de calor do pavimento
T _{int.}	Temperatura interior mínima da câmara frigorífica
t _{func.}	Tempo de funcionamento do compressor
Q _A	Perdas por isolamento

A planta da instalação é apresentada no apêndice I onde é possível visualizar a posição relativa entre os espaços refrigerados. A diferença entre as cargas térmicas por isolamento de câmaras com alimentos no mesmo estado de conservação deve-se a diferentes temperaturas adjacentes. Daí as perdas por isolamento das câmaras frigoríficas 1 e 4, que têm maior área adjacente à temperatura exterior, serem superiores às perdas das câmaras 2 e 3, respetivamente.

3.3.2 – Perdas por arrefecimento do produto

As perdas por arrefecimento do produto correspondem à transferência de calor dos alimentos para o ar interior da câmara, durante o arrefecimento desde a temperatura de entrada até à temperatura interior.

Esta carga térmica parcial calcula-se pela equação:

$$\dot{Q}_B = \frac{m_{\text{diária}} \cdot c_p \cdot 1000 \cdot (T_{\text{ent.}} - T_{\text{cons.}})}{t_{\text{func.}} \cdot 3600} \quad (4)$$

Onde:

$\dot{Q}_B$	Perdas por arrefecimento do produto	[W]
$m_{\text{diária}}$	Massa de entrada de produto diária	[kg]
c_p	Calor específico do produto	[kJ/(kg·K)]
$T_{\text{ent.}}$	Temperatura de entrada do produto	[°C]
$T_{\text{cons.}}$	Temperatura de conservação do produto	[°C]
$t_{\text{func.}}$	Tempo de funcionamento do compressor	[h]

Os calores específicos considerados nos cálculos são o valor para um alimento em específico, no caso da câmara 3, e valores médios para vários alimentos, nos casos das restantes câmaras frigoríficas (Monteiro, 2016). As temperaturas de entrada são de 10 K acima da temperatura de conservação, para os produtos frescos, e de -10 °C, para os produtos congelados, seguindo a recomendação de ter em conta uma necessidade de redução de temperatura entre 5 e 10 K (ASHRAE, 2018).

Os resultados do cálculo desta carga térmica parcial são apresentados na tabela 8.

Tabela 8 - Cálculo das perdas por arrefecimento do produto

Câmara n.º	Alimento e seu estado de conservação	c_p [kJ/(kg·K)]	$m_{diária}$ [t]	$T_{ent.}$ [°C]	$T_{cons.}$ [°C]	$\dot{Q}_B$ [W]
1	Peixe fresco	3,37	14	9	-1	8191
2	Frutos e vegetais frescos	3,8	12,5	11	+1	8247
3	Frango congelados	1,76	23	-10	-18	10753
4	Peixe gordo e peixe magro congelados	1,78	25,5	-10	-18	12766

c_p : Calor específico do produto; $m_{diária}$: Massa de entrada de produto diária; $T_{ent.}$: Temperatura de entrada do produto; $T_{cons.}$: Temperatura de conservação do produto; $\dot{Q}_B$: Perdas por arrefecimento do produto.

3.3.3 – Perdas por respiração do produto

As perdas por respiração do produto dizem respeito ao calor libertado por produtos vivos, tais como frutas e vegetais, durante a armazenagem.

Esta carga térmica parcial calcula-se pela equação:

$$\dot{Q}_C = \frac{m_{\text{total}} \cdot Q_{\text{resp.}} \cdot 10^6}{t_{\text{func.}} \cdot 3600} \quad (5)$$

Onde:

$\dot{Q}_C$	Perdas por respiração do produto	[W]
m_{total}	Massa de produto total	[t]
$Q_{\text{resp.}}$	Calor de respiração libertado em 24 horas	[kJ/kg]
$t_{\text{func.}}$	Tempo de funcionamento do compressor	[h]

O calor libertado durante a respiração considerado no cálculo da câmara 2 é um valor médio para várias frutas e vários vegetais (Monteiro, 2016). Os resultados do cálculo desta carga térmica parcial são apresentados na tabela 9.

Tabela 9 - Cálculo das perdas por respiração do produto

Câmara n.º	Alimento (Estado de conservação)	$Q_{resp.}$ [kJ/kg]	m_{total} [t]	$\dot{Q}_C$ [W]
1	Peixe (Fresco)	0	140	0
2	Frutos e Vegetais (Fresco)	3,7	125	8030
3	Frango (Congelado)	0	230	0
4	Peixe gordo e Peixe magro (Congelado)	0	255	0

$Q_{resp.}$: Calor de respiração libertado em 24 horas; m_{total} : Massa de produto total; $\dot{Q}_C$: Perdas por respiração do produto.

3.3.4 – Perdas por renovação de ar

As perdas por renovação de ar são compostas por duas parcelas, uma parcela referente à abertura de portas e a outra à renovação automática de ar. A renovação automática de ar é necessária quando se armazenam produtos vivos para remoção do dióxido de carbono libertado durante a respiração.

Esta carga térmica parcial e as suas parcelas calculam-se pelas equações (ASHRAE, 2018):

$$\dot{Q}_D = \dot{Q}_{aut.} + \dot{Q}_{abert.} \quad (6)$$

$$\dot{Q}_{aut.} = \frac{n_{ren.} \cdot V \cdot q_{ren.} \cdot 1000}{t_{func.} \cdot 3600} \quad (7)$$

$$\dot{Q}_{abert.} = \left[221 \cdot A \cdot (h_i - h_r) \cdot \rho_r \cdot \left(1 - \frac{\rho_i}{\rho_r} \right)^{0,5} \cdot (g \cdot H)^{0,5} \cdot F_m \right] \cdot D_t \cdot D_f \cdot (1 - E) \quad (8)$$

Onde:

$\dot{Q}_D$	Perdas por renovação de ar	[W]
$\dot{Q}_{aut.}$	Perdas por entrada automática de ar	[W]
$\dot{Q}_{abert.}$	Perdas por abertura de portas	[W]
$n_{ren.}$	Número de renovações de ar	(adim.)
V	Volume da câmara frigorífica	[m ³]
$q_{ren.}$	Calor introduzido por unidade de volume de ar novo	[kJ/m ³]
$t_{func.}$	Tempo de funcionamento do compressor	[h]
A	Área da porta	[m ²]
h_i	Entalpia específica do ar infiltrado	[kJ/kg]
h_r	Entalpia específica do ar interior	[kJ/kg]
ρ_r	Massa volúmica do ar interior	[kg/m ³]
ρ_i	Massa volúmica do ar infiltrado	[kg/m ³]
g	Aceleração da gravidade	9,81 [m/s ²]
H	Altura da porta	[m]
F_m	Fator de densidade	(adim.)

D_t	Fator de tempo de abertura da porta	(adim.)
D_f	Fator de caudal da porta	(adim.)
E	Eficácia do dispositivo de proteção da porta	(adim.)

Em concordância com o recomendado, considerou-se o valor de 4 para o número de renovações automáticas de ar (Creus, 1978). No que é referente às portas, considerou-se portas automáticas de enrolar de 3 m de altura por 3 m de largura.

Os resultados do cálculo desta carga térmica parcial são apresentados na tabela 10.

Tabela 10 - Cálculo das perdas por renovação de ar

Espaço refrigerado	$\dot{Q}_{aut.}$ [W]	$\dot{Q}_{abert.}$ [W]	$\dot{Q}_D$ [W]
Câmara 1	0	409	409
Câmara 2	5808	398	6206
Câmara 3	0	2250	2250
Câmara 4	0	2482	2482
Cais refrigerado	0	4780	4780

$\dot{Q}_{aut.}$: Perdas por entrada automática de ar; $\dot{Q}_{abert.}$: Perdas por abertura de portas; $\dot{Q}_D$: Perdas por renovação de ar.

3.3.5 – Perdas por arrefecimento de embalagens

As perdas por arrefecimento de embalagens dizem respeito à transferência de calor das embalagens para o ar interior, durante o arrefecimento desde a temperatura de entrada até à temperatura interior da câmara frigorífica, e calcula-se pela equação:

$$\dot{Q}_E = \frac{m_{emb.} \cdot c_{p_{emb.}} \cdot 1000 \cdot (T_{ent.} - T_{int.})}{t_{func.} \cdot 3600} \quad (9)$$

Onde:

$\dot{Q}_E$	Perdas por arrefecimento de embalagens	[W]
$m_{emb.}$	Massa de entrada de embalagens diária	[kg]
$c_{p_{emb.}}$	Calor específico das embalagens	[kJ/(kg·K)]
$T_{ent.}$	Temperatura de entrada das embalagens	[°C]
$T_{int.}$	Temperatura interior mínima da câmara frigorífica	[°C]
$t_{func.}$	Tempo de funcionamento do compressor	[h]

Tendo em conta que a massa de produto que cada palete carrega é muito superior à massa da própria paleta, optou-se por desprezar esta carga térmica parcial em todos os casos.

3.3.6 – Perdas por estiva

As perdas por estiva correspondem ao calor libertado por pessoas (estiva manual) ou por pessoas e empilhadores (estiva mecânica) durante a sua permanência no interior da câmara frigorífica.

Esta carga térmica parcial calcula-se pela equação:

$$\dot{Q}_F = \frac{n_{\text{pess.}} \cdot \dot{Q}_{\text{pess.}} \cdot t}{t_{\text{func.}}} + \frac{n_{\text{emp.}} \cdot \dot{Q}_{\text{emp.}} \cdot 1000 \cdot t}{t_{\text{func.}}} \quad (10)$$

Onde:

$\dot{Q}_F$	Perdas por estiva	[W]
$n_{\text{pess.}}$	Número de pessoas	(adim.)
$\dot{Q}_{\text{pess.}}$	Potência térmica dissipada por pessoa	[W]
t	Tempo de permanência no interior da câmara frigorífica	[h]
$t_{\text{func.}}$	Tempo de funcionamento do compressor	[h]
$n_{\text{emp.}}$	Número de empilhadores	(adim.)
$\dot{Q}_{\text{emp.}}$	Potência térmica dissipada por empilhador	[kW]

A potência térmica dissipada por pessoa ($\dot{Q}_{\text{pess.}}$) é função da temperatura interior ($T_{\text{int.}}$, °C) e calcula-se pela equação (ASHRAE, 2017):

$$\dot{Q}_{\text{pess.}} = 272 - 6 \cdot T_{\text{int.}} \quad (11)$$

O tempo de permanência no interior do espaço refrigerado (t) considerou-se ser de 1 minuto por cada tonelada de produto que entra na instalação para o cais refrigerado e de 3 minutos por tonelada para as câmaras frigoríficas.

Os resultados do cálculo da carga térmica por estiva são apresentados na tabela 11.

Tabela 11 - Cálculo das perdas por estiva

Espaço refrigerado	$n_{\text{pess.}}$ (adim.)	$\dot{Q}_{\text{pess.}}$ [W]	$n_{\text{emp.}}$ (adim.)	$\dot{Q}_{\text{emp.}}$ [kW]	t [h]	$\dot{Q}_F$ [W]
Câmara 1	1	278	1	6	0,7	275
Câmara 2	1	266	1	6	0,625	245
Câmara 3	1	380	1	6	1,15	459
Câmara 4	1	380	1	6	1,275	508
Cais refrig.	4	212	4	6	3,75	5824

$n_{\text{pess.}}$: Número de pessoas; $\dot{Q}_{\text{pess.}}$: Potência térmica dissipada por pessoa; $n_{\text{emp.}}$: Número de empilhadores; $\dot{Q}_{\text{emp.}}$: Potência térmica dissipada por empilhador; t : Tempo de permanência no interior do espaço refrigerado; $\dot{Q}_F$: Perdas por estiva.

3.3.7 – Perdas por iluminação

As perdas por iluminação dizem respeito ao calor dissipado pelos equipamentos que iluminam os espaços refrigerados.

Esta carga térmica parcial calcula-se pela equação:

$$\dot{Q}_G = \frac{\dot{Q}_{\text{ilum.}} \cdot A \cdot t}{t_{\text{func.}}} \quad (12)$$

Onde:

$\dot{Q}_G$	Perdas por iluminação	[W]
$\dot{Q}_{\text{ilum.}}$	Potência térmica dissipada por unidade de área do pavimento	[W/m ²]
A	Área do pavimento	[m ²]
t	Período de estiva	[h]
$t_{\text{func.}}$	Tempo de funcionamento do compressor	[h]

Em concordância com a regra prática, assumiu-se uma potência térmica dissipada de 10 W/m² (Monteiro, 2016).

Os resultados do cálculo desta carga térmica parcial são apresentados na tabela 12.

Tabela 12 - Cálculo das perdas por iluminação

Espaço refrigerado	A [m²]	$\dot{Q}_{\text{ilum.}}$ [W/ m²]	t [h]	$\dot{Q}_G$ [W]
Câmara 1	200	10	10	1250
Câmara 2	200	10	10	1250
Câmara 3	200	10	10	1250
Câmara 4	200	10	10	1250
Cais refrig.	200	10	10	1250

A: Área do pavimento; $\dot{Q}_{\text{ilum.}}$: Potência térmica dissipada por unidade de área do pavimento; t: Período de estiva; $\dot{Q}_G$: Perdas por iluminação.

3.3.8 – Perdas por funcionamento do evaporador

As perdas por funcionamento do evaporador correspondem ao calor dissipado pelos motores, que acionam os ventiladores, e pelas resistências elétricas, necessárias para a descongelação da bateria evaporadora. Esta carga térmica parcial toma o valor de uma fração da soma das cargas térmicas parciais calculadas anteriormente: Para os espaços refrigerados nos quais a temperatura interior mínima é superior a $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ considerou-se 5% (ASHRAE, 2018) e 15% para espaços refrigerados com temperaturas inferiores (ASHRAE, 2017).

Os resultados do cálculo desta carga térmica parcial são apresentados na tabela 13.

Tabela 13 - Cálculo das perdas por funcionamento do evaporador

Espaço refrigerado	Temperatura interior [$^{\circ}\text{C}$]	Fração da carga térmica (%)	$\dot{Q}_H$ [W]
Câmara 1	-1 / +1	5	961
Câmara 2	+1 / +6	5	1540
Câmara 3	-18 / -16	15	3357
Câmara 4	-18 / -16	15	3763
Cais refrigerado	+10 / +12	5	866

$\dot{Q}_H$: Perdas por funcionamento do evaporador.

3.3.9 – Balanço final

Em concordância com a regra prática, a soma das oito cargas térmicas parciais foi afetada por um coeficiente de segurança de 10% (ASHRAE, 2017).

De seguida, apresenta-se uma tabela que resume os resultados obtidos e o peso relativo de cada carga térmica parcial.

Tabela 14 - Balanço final

Carga térmica parcial	Câmara 1	Câmara 2	Câmara 3	Câmara 4	Cais refrigerado
A – Isolamento	9100 (45%)	6818 (21%)	7672 (30%)	8077 (28%)	5462 (30%)
B – Arrefecimento do produto	8191 (41%)	8247 (26%)	10753 (42%)	12766 (44%)	0 (0%)
C – Respiração do produto	0 (0%)	8030 (25%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
D – Renovação de ar	409 (2%)	6206 (19%)	2250 (9%)	2482 (9%)	4780 (26%)
E – Arrefecimento de embalagens	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
F – Estiva	275 (1%)	245 (1%)	459 (2%)	508 (2%)	5824 (32%)
G – Iluminação	1250 (6%)	1250 (4%)	1250 (5%)	1250 (4%)	1250 (7%)
H – Evaporador	961 (5%)	1540 (5%)	3357 (13%)	3763 (13%)	866 (5%)
Coeficiente de segurança	2019	3233	2574	2885	1818
Carga térmica total	22205	35568	28315	31731	19999

CAPÍTULO 4 – CONCEÇÃO DOS SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO

Este capítulo apresenta as condições consideradas na conceção dos sistemas de refrigeração, o dimensionamento das tubagens e a seleção de componentes e equipamentos.

O fluido frigorigéneo escolhido é o R404A devido à sua gama de aplicação cobrir as temperaturas de evaporação desejadas (Bitzer, 2020a) e ao seu emprego generalizado em sistemas de refrigeração comercial. As capacidades frigoríficas são de 77,8 kW para o circuito das câmaras de frescos e de 60,0 kW para o circuito das câmaras de congelados. Os diferenciais de temperatura de condensação tomam os valores típicos de 15 K para o circuito das câmaras de frescos e de 10 K para o circuito das câmaras de congelados (Wirz, 2017), aos quais correspondem temperaturas de condensação de 45,3 °C e 40,3 °C, respetivamente. O diferencial de temperatura nos evaporadores é função da humidade relativa. Este e outros parâmetros relacionados com a operação dos evaporadores são apresentados na tabela 15.

Tabela 15 - Condições de operação dos evaporadores

Circuito das câmaras de frescos					
Espaço refrigerado	Q [kW]	T_{ar} [°C]	H.R. (%)	DT [K]	T_{evap.} [°C]
Câmara 1	22,2	-1	95	4	-5
Câmara 2	35,6	+1	90	5	-4
Cais refrigerado	20,0	+10	70	10	0
Circuito das câmaras de congelados					
Espaço refrigerado	Q [kW]	T_{ar} [°C]	H.R. (%)	DT [K]	T_{evap.} [°C]
Câmara 3	28,3	-18	80	7	-25
Câmara 4	31,7	-18	90	5	-23

Legenda:

Q	Potência térmica	[kW]
T _{ar}	Temperatura do ar	[°C]
H.R.	Humidade relativa do ar	(%)
DT	Diferencial de temperatura nos evaporadores	[K]
T _{evap.}	Temperatura de evaporação	[°C]

Para os restantes parâmetros consideraram-se os valores mais desfavoráveis, dentro do intervalo de valores típicos: Subarrefecimento de 3 K, sobreaquecimento total de 17 K (Wirz, 2017) e sobreaquecimento útil de 3 K para o circuito das câmaras de frescos e de 1 K para o circuito das câmaras de congelados (Whitman et al., 2012).

4.1 – Dimensionamento das tubagens

Os critérios de dimensionamento adotados foram: Perda de carga equivalente máxima de 0,02 K/m, para as linhas de descarga e de aspiração e velocidade máxima de 1 m/s para a linha de líquido (ASHRAE, 2018).

O dimensionamento das tubagens realizou-se com recurso à aplicação informática CRE. Os dados relativos ao ciclo de compressão de vapor que foram introduzidos no programa são apresentados nos anexos I e II.

Os resultados do dimensionamento são apresentados na tabela 16.

Tabela 16 - Dimensionamento das tubagens

Circuito das câmaras de frescos					
Linha	d_{int.1} [mm]	d_{ext.} ["]	d_{int.2} [mm]	v [m/s]	Δt [K/m]
Descarga	36,34	1 5/8	38,77	7,22	0,0145
Líquido	31,80	1 3/8	32,42	0,96	0,0042
Aspiração	57,82	2 5/8	64,17	9,54	0,0120
Circuito das câmaras de congelados					
Linha	d_{int.1} [mm]	d_{ext.} ["]	d_{int.2} [mm]	v [m/s]	Δt [K/m]
Descarga	35,32	1 5/8	38,77	6,94	0,0126
Líquido	28,16	1 3/8	32,42	0,75	0,0031
Aspiração	68,48	3 1/8	76,07	10,97	0,0120

Legenda:

d _{int.1}	Diâmetro interior calculado pelo CRE	[mm]
d _{ext.}	Diâmetro exterior do tubo da norma EN 12735-1	["]
d _{int.2}	Diâmetro interior do tubo da norma EN 12735-1	[mm]
v	Velocidade (tubo selecionado)	[m/s]
Δt	Perda de carga equivalente (tubo selecionado)	[K/m]

A linha de aspiração é isolada para minimizar os ganhos de calor e prevenir a condensação e a formação de gelo.

A regra prática é especificar a espessura do isolamento tal que os ganhos de calor sejam de 25 W/m^2 . As espessuras do isolamento determinaram-se com recurso a tabela da ASHRAE, construída seguindo a regra prática para isolamento de espuma elastomérica flexível (ASHRAE, 2018).

As linhas de aspiração são isoladas com coquilha de espuma elastomérica flexível com a espessura de 40 mm para o circuito de frescos e de 65 mm para o circuito de congelados.

4.2 – Seleção de componentes e equipamentos

4.2.1 – Compressor e respetivos acessórios

O compressor tem as funções de reduzir a pressão a montante, aspirando o fluido frigorígeno, tal que a temperatura de evaporação seja inferior à temperatura do espaço refrigerado, e aumentar a pressão a jusante, comprimindo e descarregando o fluido frigorígeno, tal que a temperatura de condensação seja superior à temperatura ambiente. Ou seja, o compressor promove a criação e manutenção de dois níveis de pressão e a circulação do fluido frigorígeno pelo sistema, substituindo continuamente a quantidade de fluido no interior dos permutadores de calor.

O compressor é selecionado para lidar com as condições de operação mais exigentes às quais o sistema de refrigeração é exposto e, por isso, está sobredimensionado para todas as condições intermédias. Embora o excesso de capacidade possa ser compensado aumentando o número de ciclos de operação do compressor, esta abordagem causa grandes variações de temperatura, é energeticamente ineficiente e reduz o tempo de vida útil do compressor. Pelo contrário, a maioria dos métodos de controlo da capacidade são altamente eficientes, portanto há um grande potencial de poupança de energia em carga parcial (Bitzer, 2016).

A solução definida para a função do compressor foi a utilização de central com três compressores alternativos semi-herméticos, com o controlo da capacidade frigorífica do compressor mais potente a ser feito por variador de velocidade enquanto os outros dois compressores não têm regulação. Selecionaram-se os compressores e os variadores de velocidade com recurso à aplicação do fabricante Bitzer. Os resultados da seleção destes equipamentos são apresentados nos anexos III e IV.

Os compressores possuem sistema de arranque em vazio, para reduzir a corrente de arranque. Este sistema é composto por *bypass* entre a descarga e a aspiração, na cabeça do compressor, e por válvula de solenoide. O seu funcionamento consiste em abrir a válvula de solenoide, durante o arranque do compressor e por um curto período de tempo, permitindo a equalização da pressão entre os lados da alta pressão e da baixa pressão, para que o compressor arranque sem carga (Bitzer, 2006).

Durante períodos de paragem do compressor, uma grande quantidade de fluido frigorígeno tende a migrar naturalmente para o cárter e a ser absorvida pelo óleo lubrificante. No arranque seguinte, as consequências são: Aumento do arrastamento de óleo, golpe de líquido, lubrificação deficiente e, em situações críticas, falha do compressor.

A lubrificação adequada do compressor durante a operação é assegurada por um pressostato diferencial de óleo. Este dispositivo é ligado à aspiração do

compressor e à descarga da bomba de óleo. O funcionamento do compressor é interrompido, caso a pressão não atinja o valor de *set-point*, durante o intervalo de tempo preestabelecido (Bitzer, 2013). O pressostato diferencial de óleo selecionado é do modelo MP 55, do fabricante Danfoss.

Os compressores são dotados de resistência de cárter. Este acessório mantém a temperatura do óleo lubrificante acima da temperatura mínima do sistema durante o período de paragem, minimizando a absorção de fluido frigorigéneo pelo óleo (Bitzer, 2014).

O compressor funciona em ciclo de *pump-down* por três razões: (1) retirar o fluido frigorigéneo do evaporador e da linha de aspiração, antes do período de paragem, impedindo a sua migração para o compressor; (2) prevenir golpes de líquido ao compressor, durante o arranque; e (3) prevenir a formação de espuma no cárter, durante o arranque do compressor. O ciclo de *pump-down* consiste em manter o compressor em funcionamento depois da alimentação do evaporador ter sido interrompida. O fluido frigorigéneo é circulado do lado da baixa pressão para o lado da alta pressão, até que, seja atingida a pressão inferior de *set-point* (*cut-out*). O fluido é armazenado no depósito de líquido, até que a alimentação do evaporador seja restabelecida. Quando a alimentação do evaporador é retomada, a pressão de aspiração aumenta e, ao atingir a pressão superior de *set-point* (*cut-in*), o compressor arranca. O dispositivo que liga e desliga o compressor denomina-se pressostato de baixa pressão.

Um pressostato de alta pressão é ligado à descarga do compressor, para impedir que o compressor opere a uma pressão de condensação demasiado alta. Este dispositivo interrompe o funcionamento do compressor quando é atingida a pressão de *set-point*. O dispositivo selecionado, para cumprir, simultaneamente, as funções de pressostato de alta pressão e de pressostato de baixa pressão, foi um pressostato duplo, do modelo KP 15, do fabricante Danfoss.

A vibração gerada pelo compressor, quando se propaga livremente pelas tubagens, tem duas consequências indesejadas: (1) dano na tubagem e ligações; e (2) transmissão de ruído pela tubagem e pelo edifício (ASHRAE, 2018). Para absorver as vibrações transmitidas ao longo das tubagens, são instalados eliminadores de vibrações ou, em alternativa, as linhas são dotadas com diversas mudanças de direção de maneira a aumentar a sua flexibilidade (Monteiro, 2015).

Entre o compressor e o coletor de descarga, é instalada uma válvula de retenção que impede que um compressor em funcionamento descarregue fluido frigorigéneo na cabeça de um compressor desligado. Estas válvulas selecionaram-se utilizando a aplicação Coolselector2, do fabricante Danfoss.

Todas as válvulas e componentes selecionados utilizando esta aplicação são apresentados nos anexos V, VI e VII.

4.2.2 – Separador de óleo

O separador de óleo tem as funções de retirar o óleo lubrificante do escoamento de fluido frigorígeno e devolvê-lo ao depósito de óleo. Este equipamento é instalado na linha de descarga. Selecionaram-se os separadores de óleo com recurso ao catálogo do fabricante ESK (ESK, 2019). Os equipamentos selecionados são do modelo OS-42FY.

Uma válvula de retenção é instalada entre o separador de óleo e o condensador, para impedir que o fluido frigorígeno retorne do condensador para o separador de óleo, durante períodos de paragem do compressor. Estas válvulas selecionaram-se com recurso à aplicação Cs2.

O sistema de gestão do óleo é composto por: Separador de óleo, depósito de óleo, válvula de pressão diferencial, válvulas de seccionamento, filtro de óleo, visor e regulador do nível de óleo.

O depósito de óleo tem as funções de armazenar o óleo lubrificante capturado pelo separador de óleo, fornecê-lo ao regulador de nível de óleo e garantir o seu fornecimento em qualquer condição de operação. Selecionaram-se os depósitos de óleo consultando o catálogo do fabricante ESK. Os equipamentos selecionados são do modelo OSA-11.

Entre o depósito de óleo e a linha da aspiração, é instalada uma válvula de pressão diferencial, para aliviar a pressão do depósito de óleo enquanto mantém um diferencial de pressão adequado entre o depósito e o cárter do compressor. As válvulas selecionadas são do modelo RV2-10B-1,5, do fabricante ESK.

Para evitar que pequenas partículas sólidas entrem no compressor, um filtro de óleo é instalado na linha de retorno do óleo junto a cada compressor. Os filtros selecionaram-se com recurso ao catálogo do fabricante Castel (Castel, 2021). Estes componentes são do modelo 4520/3.

Um visor é instalado a montante do regulador de nível do óleo, para permitir a aferição da alimentação de óleo ao cárter do compressor e outro visor é instalado entre o separador de óleo e o depósito de óleo, que possibilita conferir o funcionamento do separador de óleo. Os componentes selecionados são do modelo 3810/33, do fabricante Castel.

Acoplado à sede do visor de óleo do compressor, é instalado um regulador de nível do óleo. Este componente tem a função de controlar a quantidade de óleo presente no cárter do compressor. Selecionaram-se os reguladores de nível do óleo com recurso ao catálogo do fabricante ESK. Os componentes selecionados são reguladores mecânicos, do modelo OR-0-BC.

4.2.3 – Condensador

O condensador tem a função de rejeitar calor do fluido frigorigéneo a alta temperatura e a alta pressão para o meio de arrefecimento. Os condensadores selecionaram-se com recurso ao catálogo de condensadores CT-CD-0002-2 (Centauro, s.d.a), do fabricante Centauro.

A capacidade corrigida do condensador calcula-se pela equação:

$$Q_0 = Q_{@DT=15K} \cdot DT/15 \cdot FC1_{MP} \cdot FC2 \cdot FC3 \cdot FC4 \quad (13)$$

Onde:

Q_0	Capacidade corrigida do condensador	[kW]
$Q_{@DT=15K}$	Capacidade nominal do condensador para DT=15 K	[kW]
DT	Diferencial de temperatura	[K]
$FC1_{MP}$	Fator de correção do fluido frigorigéneo	1,00 (adim.)
FC2	Fator de correção do material das alhetas	0,97 (adim.)
FC3	Fator de correção da temperatura ambiente	1,02 (adim.)
FC4	Fator de correção da altitude	1,00 (adim.)

Os condensadores a ar forçado com fluxo de ar vertical foram selecionados para as seguintes condições: (1) diferencial de temperatura de 15 K para o circuito das câmaras de frescos e de 10 K para o circuito das câmaras de congelados; (2) fluido frigorigéneo R404A; (3) alhetas em alumínio revestido; (4) temperatura ambiente de 30,3 °C; (5) altitude de 33 m. As capacidades de seleção dos condensadores correspondem às capacidades do condensador apresentadas nos resultados da seleção dos compressores (anexos III e IV).

Os resultados dos cálculos de seleção são apresentados na tabela 17.

Tabela 17 - Seleção dos condensadores

Circuito	Condensador	$Q_{@DT=15K}$ [kW]	DT [K]	Q_0 [kW]	Q [kW]
Frescos	ACI/E 363/153Y	128,63	15	127,0	122,8
Congelados	ACI/E 363/171T	170,52	10	112,2	109,5

$Q_{@DT=15K}$: Capacidade nominal do condensador para DT=15 K; **DT**: Diferencial de temperatura; **Q_0** : Capacidade corrigida do condensador; **Q**: Capacidade necessária.

Quando a temperatura ambiente diminui, o diferencial de temperatura de condensação aumenta e a capacidade do condensador aumenta também. O sobredimensionamento do condensador para as condições de baixa temperatura traduz-se numa redução da pressão de condensação, redução da taxa de compressão e redução do consumo de energia elétrica. A redução da pressão de condensação é limitada pelos limites de aplicação do compressor e pela diferença de pressões que permite a válvula de expansão alimentar corretamente o evaporador. O controlo da pressão de condensação é feito por variação de velocidade. O controlador mantém a pressão de condensação constante variando a velocidade dos ventiladores e impede que a pressão desça abaixo do valor mínimo desligando os ventiladores (Whitman, et al., 2012).

4.2.4 – Depósito de líquido e acessórios

O depósito de líquido tem a função de armazenar o fluido frigorigéneo. Selecionaram-se os depósitos de líquido com recurso à aplicação BS. Os resultados da seleção destes equipamentos são apresentados nos anexos III e IV.

Acoplado ao depósito de líquido, é instalada uma válvula de segurança. Este componente tem a função de libertar fluido frigorigéneo quando a pressão do sistema atinge o valor de *set-point*, aliviando a pressão. Selecionaram-se as válvulas de segurança utilizando o programa Cs2.

Um filtro secador é instalado a jusante do depósito de líquido, com o propósito de reter partículas sólidas e absorver a humidade. Os filtros selecionaram-se com recurso à aplicação do fabricante Danfoss.

A jusante do filtro secador é instalado um visor de líquido, para aferir a quantidade de humidade no interior do sistema. Este componente permite também avaliar a carga de fluido frigorigéneo e o nível de subarrefecimento. Os visores de líquido com indicador de humidade foram selecionados utilizando a aplicação Cs2.

4.2.5 – Válvula de expansão

A válvula de expansão tem as funções de reduzir a pressão desde o nível da alta pressão até ao nível da baixa pressão, alimentar corretamente o evaporador e controlar o sobreaquecimento.

As válvulas de expansão eletrónicas têm algumas vantagens relativamente às válvulas de expansão termostáticas, designadamente: Conseguem operar com menor diferencial de pressão, alimentam melhor o evaporador e controlam melhor a temperatura do ar. A principal desvantagem das válvulas de expansão eletrónicas é o seu custo inicial mais elevado (Monteiro, 2015). Como medida de eficiência energética, optou-se por uma válvula de expansão eletrónica.

As válvulas de expansão eletrónicas foram selecionadas com recurso à aplicação do fabricante Danfoss.

Habitualmente, é instalada uma válvula de solenoide a montante da válvula de expansão. Quando é atingida a temperatura de *set-point* do espaço refrigerado, o controlador do evaporador interrompe a alimentação do evaporador fechando a válvula de solenoide. No presente caso, a válvula de expansão eletrónica é regulada por impulsos de comprimento modulado, ou seja, acionada ela própria por solenoide e, por isso, desempenha também a função de válvula de solenoide.

É uma boa prática instalar um filtro a montante da válvula de expansão, para prevenir que partículas sólidas se alojem na sede da válvula. Este componente torna-se desnecessário porque as válvulas de expansão selecionadas possuem filtro interno.

4.2.6 – Evaporador

O evaporador tem a função de absorver calor do meio a arrefecer. Os evaporadores selecionaram-se com recurso aos catálogos de evaporadores cúbicos CT-EV-0002-2 (Centauro, s.d.b) e de evaporadores de duplo fluxo CT-EV-0003-2 (Centauro, s.d.c), do fabricante Centauro.

A capacidade corrigida do evaporador calcula-se pela equação:

$$Q_0 = Q_S \cdot RC \cdot FC1_{MP} \cdot FC2 \quad (14)$$

Onde:

Q_0	Capacidade corrigida do evaporador	[kW]
Q_S	Capacidade para seleção do evaporador	[kW]
RC	Fator de correção das condições de operação	(adim.)
$FC1_{MP}$	Fator de correção do fluido frigorígeno	1,00 (adim.)
FC2	Fator de correção do material das alhetas	1,00 (adim.)

Os evaporadores foram selecionados para o fluido frigorígeno R404A e alhetas em alumínio. As condições de operação (temperatura da câmara e diferencial de temperatura) apresentadas no início do capítulo foram utilizadas no cálculo do fator de correção RC.

Nos espaços refrigerados são instalados dois evaporadores e, por isso, as capacidades de seleção dos evaporadores correspondem a metade das cargas térmicas totais do respetivo espaço refrigerado.

Os resultados dos cálculos de seleção são apresentados na tabela 18.

Tabela 18 - Seleção dos evaporadores

Espaço refrigerado	Evaporador	Q_s [kW]	RC (adim.)	Q₀ [kW]	Q [kW]
Câmara 1	MTB 6P1/25	24,57	0,468	11,5	11,1
Câmara 2	MTB 6M2/34	34,07	0,612	20,8	17,8
Câmara 3	DDC 8P1/22	22,09	0,688	15,2	14,2
Câmara 4	DDC 8P2/35	34,79	0,510	17,7	15,9
Cais refrigerado	CBK 4B4/12 R	11,72	1,00	11,7	10,0

Q_s: Capacidade para seleção do evaporador; **RC**: Fator de correção das condições de operação; **Q₀**: Capacidade corrigida do evaporador; **Q**: Capacidade necessária.

Uma válvula reguladora da pressão de evaporação é instalada a jusante do evaporador, para manter a pressão de evaporação constante e permitir que vários evaporadores do mesmo sistema operem a diferentes pressões e temperaturas de evaporação. A jusante do evaporador cuja temperatura de evaporação é a menor, é instalada uma válvula de retenção. Estas válvulas selecionaram-se utilizando a aplicação do fabricante Danfoss.

4.2.7 – Separador de aspiração

O separador de aspiração tem as funções de recolher fluido frigorígeno líquido impedindo a sua aspiração e retornar óleo lubrificante ao compressor. Este equipamento é instalado a montante do coletor de aspiração. Selecionaram-se os separadores de aspiração com recurso ao catálogo do fabricante ESK. Os equipamentos selecionados são do modelo FA-54-7, para o circuito das câmaras de frescos, e do modelo FA-67T, para o circuito das câmaras de congelados.

CAPÍTULO 5 – OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

Este capítulo apresenta o estudo da otimização dos sistemas de refrigeração projetados. Comparou-se em termos de eficiência energética e impacto ambiental de aquecimento global a operação a R404A e a fluidos alternativos de quarta geração. Para completar o trabalho desenvolvido, foi também estudada uma hipotética reconversão (*retrofit*) de sistemas de refrigeração iguais aos projetados.

O fluido frigorigéneo R404A é uma mistura de hidrofluorcarbonetos com uma composição mássica aproximada de 52% de R143a, 44% de R125 e 4% de R134a. O R404A é uma mistura zeotrópica. Devido à semelhança entre os pontos de ebulição do R143a e do R125 e à reduzida proporção de R134a, o deslizamento de temperatura do R404A é inferior a 1 K na sua gama de aplicação. As temperatura e pressão críticas são de 72,0 °C e 37,2 bar, respetivamente, logo na sua aplicação típica, a refrigeração comercial, os equipamentos não são obrigados a operar em regime transcrito.

Embora o R143a seja inflamável (classe de inflamabilidade 2L), a sua combinação com uma elevada proporção de fluidos não inflamáveis torna a mistura não inflamável. Nenhum dos constituintes da mistura é tóxico. Quanto à segurança, é atribuída ao R404A a classe A1. O R404A não contribui para o empobrecimento da camada de ozono e, por isso, tem ODP nulo. O elevado potencial de aquecimento global do R404A (GWP = 3922) é determinado principalmente pelos constituintes R143a (GWP = 4470) e R125 (GWP = 3500). O R134a (GWP = 1430) tem um potencial de aquecimento global baixo, relativamente aos outros constituintes, mas devido à sua proporção minoritária contribui pouco para a redução do impacto ambiental da mistura.

A necessidade de reverter um sistema de refrigeração existente para um fluido frigorigéneo alternativo surge por três razões: (1) indisponibilidade do fluido frigorigéneo utilizado; (2) proibição de utilização do fluido frigorigéneo atual; e (3) impossibilidade prática de substituir totalmente o sistema de refrigeração (Blatz et al, 2017).

O Regulamento N.º 517/2014 (F-gas) da União Europeia estabelece o objetivo comunitário de reduzir gradualmente o consumo de hidrofluorcarbonetos, entre 2015 e 2030, para 21% do valor inicial. Como a quantidade de gases fluorados é determinada em tonelada de dióxido de carbono equivalente, os fluidos frigorigéneos com maior potencial de aquecimento global, tais como o R404A e o R507A, são os mais afetados pela imposição regulamentar, tornando-se progressivamente mais escassos e, por isso, também mais caros. O regulamento F-gas proíbe, desde 2020, a utilização de gases fluorados com efeito de estufa não reciclados e não valorizados, com potencial de aquecimento global maior ou igual a 2500, em ações de manutenção de equipamentos de refrigeração com carga de 40 toneladas de dióxido de carbono

equivalente ou superior. A impossibilidade de substituir completamente um sistema de refrigeração já existente deve-se ao elevado custo de investimento e ao tempo de paragem de operação necessários.

5.1 – Alternativas ao fluido R404A

Os fluidos frigorigéneos apontados pelo fabricante de compressores Bitzer e pelo fabricante de componentes Danfoss como alternativas de longo prazo ao R404A para a conversão de sistemas de refrigeração comercial existentes são o R448A, o R449A e o R452A (Bitzer, 2020b) (Danfoss, s.d.). O fluido frigorigéneo R452A é recomendado para a conversão de equipamentos autónomos (*self-contained*) de refrigeração e os fluidos R448A e R449A para a conversão de sistemas centralizados de refrigeração. Logo, os fluidos frigorigéneos alternativos para os sistemas de refrigeração em questão são o R448A e o R449A.

O fluido frigorigéneo R448A é uma mistura zeotrópica com uma composição mássica aproximada de 26% de R32, 26% de R125, 20% de R1234yf, 21% de R134a e 7% de R1234ze(E). O fluido frigorigéneo R449A é uma mistura zeotrópica com uma composição mássica aproximada de 24,3% de R32, 24,7% de R125, 25,3% de R1234yf e 25,7% de R134a.

Como as moléculas de HFO, R1234yf (GWP = 4) e R1234ze(E) (GWP = 7), apresentam capacidade frigorífica volumétrica consideravelmente inferior ao R404A é adicionado R32 (GWP = 675), um HFC de classe A2L, com elevada capacidade frigorífica volumétrica e com potencial de aquecimento global relativamente baixo. Para obter uma mistura não inflamável, são adicionados fluidos com elevada proporção de flúor, R125 (GWP = 3500) e R134a (GWP = 1430), com a desvantagem de aumentar o potencial de aquecimento global (Bitzer, 2020a). As misturas obtidas, o R448A (GWP = 1387) e o R449A (GWP = 1397), representam uma redução de aproximadamente dois terços do potencial de aquecimento global, relativamente ao R404A (GWP = 3922).

Ambos os fluidos são não tóxicos e não inflamáveis (classe de segurança A1). Esta característica é fundamental já que por razões de segurança os fluidos das classes A2L e A3 apenas podem ser utilizados em sistemas projetados especificamente tendo em conta a sua inflamabilidade. Por isso, apenas fluidos frigorigéneos da classe A1 devem ser utilizados na reconversão de sistemas a R404A (Bitzer, 2020b).

As composições semelhantes dos fluidos frigorigéneos R448A e R449A traduzem-se em desempenhos semelhantes entre si, relativamente aos parâmetros: Capacidade frigorífica, eficiência energética, temperatura de descarga, deslizamento de temperatura e taxa de compressão (Chemours, 2016).

5.2 – Impacte de aquecimento global (TEWI)

O impacte de aquecimento global (TEWI) é um indicador do impacte ambiental de aquecimento global baseado na emissão de gases com efeito de estufa durante a operação de equipamentos e recuperação do fluido operante no fim de vida. O TEWI tem em consideração as emissões diretas de gases com efeito de estufa, relacionadas com a fuga de fluido frigorígeno para a atmosfera, e as emissões indiretas, relacionadas com a produção da energia consumida durante a operação do equipamento.

Este indicador permite comparar o impacte ambiental dos sistemas de refrigeração utilizando R404A com os mesmos sistemas utilizando um fluido frigorígeno alternativo.

O TEWI calcula-se pela equação (Bitzer, 2020a):

$$\text{TEWI} = [\text{GWP} \cdot \text{L} \cdot \text{n}] + [\text{GWP} \cdot \text{m} \cdot (1 - \alpha_{\text{recup.}})] + [\text{n} \cdot \text{E}_{\text{anual}} \cdot \beta] \quad (15)$$

= Fugas + Perdas de recuperação + Consumo de energia

Onde:

TEWI	Total Equivalent Warming Potencial	[kgCO ₂ e]
GWP	Global Warming Potencial	[kgCO ₂ e/kg]
L	Taxa de fuga de fluido frigorígeno anual	[kg/ano]
n	Tempo de vida útil da instalação	[anos]
m	Carga de fluido frigorígeno	[kg]
$\alpha_{\text{recup.}}$	Fator de recuperação	(adim.)
E_{anual}	Consumo anual de energia elétrica	[kWh/ano]
β	Fator de emissão da energia elétrica	[kgCO ₂ e/kWh]

O potencial de aquecimento global, GWP, é um indicador representativo da contribuição de uma substância para o aquecimento global relativamente ao dióxido de carbono. No cálculo, seguiu-se os valores dos anexos I e II do Regulamento N.º 517/2014 e do *Fourth Assessment Report (AR4)* do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas (IPCC). Os fluidos frigorígenos R404A, R448A e R449A têm, respetivamente, os potenciais de aquecimento global de: 3922, 1387 e 1397.

A taxa de fuga anual, L , é a soma das fugas graduais durante a operação normal, das perdas catastróficas distribuídas ao longo da vida do equipamento e das perdas durante ações de manutenção. O valor típico da taxa de fuga anual, para sistemas centralizados de refrigeração, é de 12,5% da carga de fluido frigorigéneo (AIRAH, 2012). O tempo de vida útil da instalação, n , é a vida útil esperada do equipamento de refrigeração. No cálculo, considerou-se um período de 10 anos (AIRAH, 2012). A carga de fluido frigorigéneo, m , é a massa de fluido carregada inicialmente no equipamento de refrigeração. As cargas de fluido frigorigéneo foram estimadas a partir de esboço 3D da instalação. O fator de recuperação, $\alpha_{\text{recup.}}$, é a proporção da carga de fluido frigorigéneo recuperada aquando do descomissionamento do sistema no final da vida útil. No cálculo, seguiu-se o valor recomendado de 70% para sistemas com carga de fluido frigorigéneo inferior a 100 kg (AIRAH, 2012).

O consumo anual de energia elétrica estimou-se com recurso ao cálculo das cargas térmicas horárias e aos dados do desempenho energético do compressor para diferentes pontos de funcionamento, disponibilizados pelo fabricante. O fator de emissão da energia elétrica, β , é a massa equivalente de dióxido de carbono emitida para produção de 1 kWh de energia elétrica fornecida à instalação de refrigeração. No cálculo, considerou-se o valor de 0,255 kgCO₂e/kWh, referente ao ano de 2019 (EEA, s.d.). Os resultados do cálculo do TEWI são apresentados nas tabelas 19 e 20.

Tabela 19 - Cálculo do indicador TEWI do sistema das câmaras de frescos

Fluido frigorigéneo	R404A	R448A	R449A
GWP [kgCO₂e/kg]	3922	1387	1397
L (%)	12,5	12,5	12,5
n [anos]	10	10	10
m [kg]	72	66	66
$\alpha_{\text{recup.}}$ (adim.)	70%	70%	70%
E_{anual} [kWh/ano]	105.603 (base)	95.194 (-9,9%)	97.193 (-8,0%)
β [kgCO₂e/kWh]	0,255	0,255	0,255
TEWI [tCO₂e]	710,0 (base)	384,6 (-45,8%)	390,7 (-45,0%)
Direto [tCO₂e]	440,7 (base)	141,8 (-67,8%)	142,9 (-67,6%)
Indireto [tCO₂e]	269,3 (base)	242,7 (-9,9%)	247,8 (-8,0%)

Tabela 20 - Cálculo do indicador TEWI do sistema das câmaras de congelados

Fluido frigorígeno	R404A	R448A	R449A
GWP [kgCO₂e/kg]	3922	1387	1397
L (%)	12,5	12,5	12,5
n [anos]	10	10	10
m [kg]	60	55	56
$\alpha_{\text{recup.}}$ (adim.)	70%	70%	70%
E_{anual} [kWh/ano]	177.053 (base)	166.187 (-6,1%)	163.686 (-7,5%)
β [kgCO₂e/kWh]	0,255	0,255	0,255
TEWI [tCO₂e]	818,1 (base)	541,6 (-33,8%)	538,3 (-34,2%)
Direto [tCO₂e]	366,6 (base)	117,9 (-67,9%)	120,9 (-67,0%)
Indireto [tCO₂e]	451,5 (base)	423,8 (-6,1%)	417,4 (-7,5%)

Legenda:

GWP	Global Warming Potencial
L	Taxa de fuga de fluido frigorígeno anual
n	Tempo de vida útil da instalação
m	Carga de fluido frigorígeno
$\alpha_{\text{recup.}}$	Fator de recuperação
E _{anual}	Consumo anual de energia elétrica
β	Fator de emissão da energia elétrica
TEWI	Total Equivalent Warming Potencial

Analisando os resultados obtidos, conclui-se que a conversão dos sistemas de refrigeração de R404A para R448A ou R449A permite reduzir o impacto ambiental de aquecimento global em aproximadamente 45%, para o sistema das câmaras de frescos, e em aproximadamente 34% para o sistema das câmaras de congelados. É possível concluir também que a redução do impacto total se deve predominantemente à redução do impacto direto.

5.3 – Verificações precedentes à reconversão

Antes de proceder à reconversão de um sistema, é necessário verificar se esse sistema pode operar com o fluido frigorigéneo alternativo e quais as alterações necessárias para garantir o correto funcionamento dos equipamentos.

Relativamente ao compressor, é necessário realizar quatro verificações: (1) compatibilidade com o novo fluido frigorigéneo; (2) variação da capacidade frigorífica; (3) limites de aplicabilidade do compressor; e (4) necessidade de trocar de óleo lubrificante.

As juntas elastoméricas utilizadas em bombas de óleo, visores de óleo e veios (apenas compressores abertos) de compressores alternativos recentes do fabricante Bitzer para aplicações a R404A, R507A e R134a são adequadas para aplicações a misturas baseadas em HFO, como R448A e R449A (Bitzer, 2020b).

Recorrendo ao programa BS, determinou-se o desempenho das centrais de compressores operando às condições de projeto com os fluidos alternativos. Os resultados do cálculo são apresentados nas tabelas 21 e 22.

Tabela 21 - Variação do desempenho da central de compressores das câmaras de frescos com a alteração do fluido considerado

Fluido frigorigéneo	R404A	R448A	R449A
f [Hz]	64 / 50 / 50	64 / 50 / 50	64 / 50 / 50
Q_e [kW]	78,0 (base)	82,3 (+5,5%)	81,5 (+4,5%)
P_e [kW]	34,4	32,1	32,0
Q_c [kW]	122,8	121,9	121,2
EER (adim.)	2,27	2,57	2,54
m [kg/h]	2750	2095	2122
T_d [°C]	77,7 (base)	90,5 (+12,8 K)	90,1 (+12,4 K)

Tabela 22 - Variação do desempenho da central de compressores das câmaras de congelados com a alteração do fluido considerado

Fluido frigorígeno	R404A	R448A	R449A
f [Hz]	60 / 50 / 50	60 / 50 / 50	60 / 50 / 50
Q_e [kW]	60,4 (base)	61,5 (+1,8%)	60,9 (+0,2%)
P_e [kW]	40,4	36,3	36,3
Q_c [kW]	109,4	103,8	103,3
EER (adim.)	1,50	1,69	1,68
m [kg/h]	2231	1612	1635
T_d [°C]	81,6 (base)	100,5 (+18,9 K)	99,7 (+18,1 K)

Legenda:

f	Frequência (compressores 1 / 2 / 3)
Q _e	Capacidade frigorífica
P _e	Potência ativa consumida
Q _c	Capacidade do condensador
EER	Energy Efficiency Ratio
m	Caudal mássico
T _d	Temperatura de descarga

A capacidade frigorífica operando com os fluidos R448A e R449A às condições de projeto é ligeiramente superior à do funcionamento a R404A. Conclui-se, portanto, que os sistemas de refrigeração conseguem suprir as necessidades térmicas utilizando os fluidos alternativos.

Os limites de aplicabilidade dos compressores foram obtidos do programa do seu fabricante e são apresentados na figura 8.

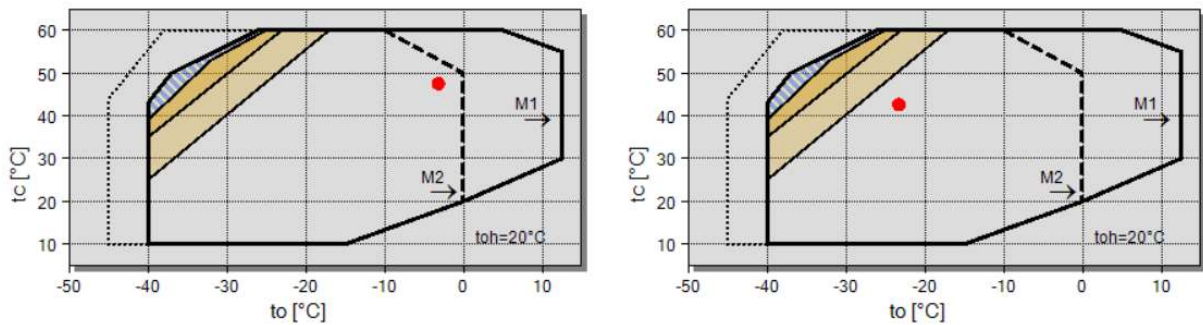


Figura 8 - Limites de aplicabilidade dos compressores de frescos (à esq.) e congelados (à dir.)

As condições de projeto encontram-se dentro dos limites de aplicabilidade dos fluidos frigorigéneos R448A e R449A. Embora a temperatura de descarga dos compressores das câmaras de congelados utilizando fluidos alternativos seja superior em aproximadamente 18 K relativamente ao R404A, não há necessidade de aplicar medidas de arrefecimento adicionais.

O óleo utilizado em compressores a R404A é o óleo sintético polioléster (POE) BSE32 que é compatível com misturas baseadas em HFO (Bitzer, 2020b), logo não é necessário alterar o tipo de óleo.

Relativamente ao condensador e ao evaporador, é necessário verificar se a sua capacidade é adequada para funcionar com o fluido frigorigéneo alternativo. Os resultados do cálculo da capacidade dos permutadores de calor são apresentados nas tabelas 23 e 24.

Tabela 23 - Cálculo da capacidade dos condensadores operando a R448A/R449A

Circuito	$Q_{@DT=15K}$ [kW]	DT [K]	FC1_{MP} (adim.)	FC2 (adim.)	FC3 (adim.)	FC4 (adim.)	Q_0 [kW]	Q [kW]
Frescos	128,63	15	0,99	0,97	1,02	1,00	125,7	121,9
Congelados	170,52	10	0,99	0,97	1,02	1,00	111,1	103,8

Legenda:

$Q_{@DT=15K}$ Capacidade nominal do condensador para DT=15 K

DT Diferencial de temperatura

FC1_{MP} Fator de correção do fluido frigorigéneo

FC2 Fator de correção do material das alhetas

FC3 Fator de correção da temperatura ambiente

FC4 Fator de correção da altitude

Q_0	Capacidade corrigida do condensador
Q	Capacidade necessária

Tabela 24 - Cálculo da capacidade dos evaporadores operando a R448A/R449A

Espaço refrig.	Q_s [kW]	RC (adim.)	$FC1_{MP}$ (adim.)	FC2 (adim.)	Q_0 [kW]	Q [kW]
Câm. 1	24,57	0,468	0,99	1,00	11,4	11,1
Câm. 2	34,07	0,612	0,99	1,00	20,6	17,8
Câm. 3	22,09	0,688	0,99	1,00	15,0	14,2
Câm. 4	34,79	0,510	0,99	1,00	17,6	15,9
Cais refrig.	11,72	1,00	0,99	1,00	11,6	10,0

Legenda:

Q_s	Capacidade para seleção do evaporador
RC	Fator de correção das condições de operação
$FC1_{MP}$	Fator de correção do fluido frigorigéneo
FC2	Fator de correção do material das alhetas
Q_0	Capacidade corrigida do evaporador
Q	Capacidade necessária

Analisando os resultados obtidos, conclui-se que os permutadores de calor conseguem suprir as necessidades térmicas utilizando os fluidos alternativos.

Relativamente a válvulas e componentes, é necessário verificar a compatibilidade com o novo fluido frigorigéneo e a adequação da capacidade operando a R448A e R449A. Utilizando o programa Cs2, determinou-se o desempenho das válvulas às condições de projeto com os fluidos alternativos. Os resultados da análise são apresentados nos anexos VIII e IX. É possível constatar que as válvulas e componentes selecionados são compatíveis com os fluidos frigorigéneos R448A e R449A e que as válvulas de expansão e as válvulas reguladoras da pressão de evaporação apenas necessitam de ser ajustadas.

É necessário verificar a adequação da dimensão das tubagens ao novo fluido frigorígeno relativamente à velocidade e perda de carga. As perdas de carga causam perda de capacidade frigorífica do compressor e aumento do consumo de energia elétrica, podendo também provocar o funcionamento incorreto da válvula de expansão se houver formação de vapor na linha de líquido (ASHRAE, 2018). Para avaliar as implicações da troca de fluido frigorígeno, calculou-se a perda de carga equivalente dos sistemas operando a R449A, com recurso ao programa CRE. Os resultados do cálculo são apresentados na tabela 25.

Tabela 25 - Cálculo das perdas de carga operando a R449A

Circuito das câmaras de frescos				
Linha	d_{ext.} ["]	d_{int.} [mm]	Δt_{R404A} [K/m]	Δt_{R449A} [K/m]
Descarga	1 5/8	38,77	0,0145	0,0104
Líquido	1 3/8	32,42	0,0042	0,0023
Aspiração	2 5/8	64,17	0,0120	0,0094
Circuito das câmaras de congelados				
Linha	d_{ext.} ["]	d_{int.} [mm]	Δt_{R404A} [K/m]	Δt_{R449A} [K/m]
Descarga	1 5/8	38,77	0,0126	0,0090
Líquido	1 3/8	32,42	0,0031	0,0016
Aspiração	3 1/8	76,07	0,0120	0,0098

Legenda:

d _{ext.}	Diâmetro exterior do tubo da norma EN 12735-1
d _{int.}	Diâmetro interior do tubo da norma EN 12735-1
Δt _{R404A}	Perda de carga equivalente operando a R404A
Δt _{R449A}	Perda de carga equivalente operando a R449A

Dos resultados obtidos, conclui-se que as perdas de carga operando a R449A são inferiores nos dois sistemas e nas três linhas de fluido frigorígeno, logo haverá aumento da eficiência energética e da reserva de capacidade frigorífica do compressor.

No que concerne ao retorno do óleo lubrificante ao compressor, a linha de aspiração é um ponto crítico. Devido à baixa temperatura no lado da baixa pressão do sistema, existe uma maior probabilidade de separação entre o óleo e o vapor. A velocidade do escoamento deve ser suficientemente elevada para arrastar as gotas de óleo através da linha de aspiração até ao compressor. Para garantir que quantidades excessivas de óleo não fiquem depositadas no sistema, é recomendado que a velocidade do escoamento da linha de aspiração se encontre no intervalo de 4,5 a 20 m/s (ASHRAE, 2018). O transporte do óleo é mais difícil quando a temperatura ambiente é mínima e, por isso, a capacidade frigorífica, o caudal mássico e a velocidade do escoamento atingem também os valores mínimos. A verificação da velocidade na linha de aspiração foi feita para a temperatura correspondente a uma frequência acumulada relativa de 1%, 1,7 °C. A este ponto de funcionamento correspondem capacidades frigoríficas de 41,0 e 46,1 kW e temperaturas de condensação de 16,7 e 16 °C, para o circuito das câmaras de frescos e para o circuito das câmaras de congelados, respetivamente. A temperatura de condensação do sistema das câmaras de congelados corresponde ao limite de aplicabilidade dos compressores.

Tabela 26 - Cálculo da velocidade da linha de aspiração operando a R449A

Circuito	d_{ext.} ["]	d_{int.} [mm]	V R449A [m/s]	V recomendada [m/s]
Frescos	2 5/8	64,17	3,54	4,5 - 20
Congelados	3 1/8	76,07	6,25	

Legenda:

d _{ext.}	Diâmetro exterior do tubo da norma EN 12735-1
d _{int.}	Diâmetro interior do tubo da norma EN 12735-1
V R449A	Velocidade operando a R449A
V recomendada	Velocidade recomendada

Observa-se a necessidade de reduzir a dimensão dos tubos verticais de fluxo ascendente da linha de aspiração do circuito das câmaras de frescos. O tubo de dimensão imediatamente inferior tem diâmetro exterior de 2 1/8" e diâmetro interior de 51,47 mm. Embora implique uma perda de carga equivalente de 0,0276 K/m às condições de projeto, com o tubo de 2 1/8" obtém-se uma velocidade de 5,05 m/s a carga parcial mínima. Esta solução aceita-se porque a perda de carga adicional é compensada pela baixa perda de carga das secções horizontais da linha de aspiração.

5.4 – Custo estimado da reconversão

O custo do *retrofit* de dois sistemas de refrigeração iguais aos projetados estimou-se em aproximadamente 8600 euros, recorrendo ao catálogo Pecomark 2019 (Pecomark, 2019) e com a colaboração do Eng. Tiago Oliveira.

Relativamente à mão-de-obra foi tido em conta o facto de a intervenção ser realizada por profissionais certificados: Técnicos de Instalação e Manutenção (TIM) e Técnicos de Manuseamento de Gases Fluorados com Efeito de Estufa (TMGF). A duração exetável do procedimento é de 6 dias sendo realizado por 2 técnicos.

Os trabalhos a realizar para reconversão dos sistemas de refrigeração considerados no cálculo são descritos sucintamente a seguir.

Obtenção das condições operativas com o fluido frigorigéneo original, medindo os seguintes parâmetros de operação: Pressões de aspiração e descarga do compressor; temperaturas na aspiração e na descarga do compressor, a montante da válvula de expansão e a jusante do evaporador; e potência consumida pelo compressor. E determinar o subarrefecimento, o sobreaquecimento útil e o sobreaquecimento total.

Recolha do fluido frigorigéneo original tirando partido do funcionamento dos sistemas em ciclo de pump-down para confinar o fluido frigorigéneo entre a válvula de descarga do compressor e a válvula de saída do depósito de líquido. Posteriormente o fluido frigorigéneo é destruído.

Substituição das juntas elastoméricas dos compressores que se encontram na bomba de óleo e no visor de óleo.

Drenagem de óleo sintético polioléster (POE) BSE32 usado e carregamento da mesma quantidade de óleo virgem do mesmo tipo.

Substituição do cartucho do filtro secador e instalação temporária de filtro antiácido na linha de aspiração.

Substituição das juntas elastoméricas de válvulas e dispositivos de controlo e ajuste dos mesmos componentes.

Execução de vácuo, localização e reparação de fugas e teste de estanquidade.

Carregamento parcial do novo fluido frigorigéneo para o depósito de líquido. Os fluidos alternativos são misturas zeotrópicas e, por isso, são carregados na fase líquida para prevenir alterações na sua concentração.

Comissionamento do sistema. Verificação das condições de operação, verificação da carga de fluido frigorigéneo através do visor de líquido e carregamento cuidado na fase líquida via linha de aspiração, ajuste dos dispositivos de controlo e verificação do nível de óleo em operação.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO

A elaboração do trabalho de projeto de um posto de distribuição alimentar apresentado neste relatório proporcionou ao autor a oportunidade para desenvolver competências de projeto de instalações frigoríficas.

Na primeira parte deste projeto, o autor debruçou-se sobre o dimensionamento das câmaras frigoríficas, especificamente sobre os cálculos do volume de armazenagem, da espessura do isolamento e das cargas térmicas. Os conhecimentos empregues para determinar o volume das câmaras frigoríficas foram as variáveis que influenciam o correto acondicionamento do produto. O cálculo da espessura do isolamento térmico proporcionou a aprendizagem das soluções construtivas de câmaras frigoríficas e dos materiais de isolamento térmico habitualmente aplicados. O autor realizou o cálculo das cargas térmicas pormenorizadamente em folha de cálculo desenvolvida pelo próprio, logo poderá futuramente realizar o cálculo com recurso a aplicações informáticas conhecendo o algoritmo subjacente e podendo ser crítico relativamente aos resultados obtidos e às limitações do programa.

A segunda parte do projeto consistiu na conceção dos sistemas frigoríficos. O trabalho realizado dotou o autor de conhecimento relativo aos sistemas de refrigeração por compressão de vapor com evaporação do tipo expansão direta, nomeadamente sobre o controlo destes sistemas. Para dimensionar as tubagens aprendeu-se um conjunto de critérios adotados e utilizou-se o programa Chemours Refrigerant Expert. No que diz respeito à seleção de equipamentos e componentes foram utilizadas diversas fontes, nomeadamente as aplicações informáticas Bitzer Software e Coolselector2 e catálogos dos fabricantes Centauro, ESK e Castel, demonstrando-se o entendimento das várias ferramentas.

A última parte do trabalho tratou o tema da otimização dos sistemas de refrigeração. Compreendendo a importância dos impactes ambientais dos sistemas e objetivos e imposições da regulamentação comunitária europeia, estudou-se a conversão dos sistemas de refrigeração para os fluidos frigorigéneos R448A e R449A. As principais conclusões retiradas da análise realizada foram que substituindo o R404A por qualquer um dos fluidos alternativos obtém-se menor perda de carga equivalente, menor consumo anual de energia e menor impacte ambiental de aquecimento global.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIRAH (2012). *Methods of calculating Total Equivalent Warming Impact (TEWI)*. The Australian Institute of Refrigeration, Air conditioning and Heating, Melbourne.
- ASHRAE (2019). *Designation and Safety Classification of Refrigerants*. 34 – 2019, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, USA.
- ASHRAE (2018). *ASHRAE Handbook 2018: Refrigeration*. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Atlanta.
- ASHRAE (2017). *ASHRAE pocket guide for air conditioning, heating, ventilation, refrigeration*. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Atlanta.
- Bitzer (2016). *Competence in capacity control*. BITZER Kuhlmaschinenbau, Sindelfingen.
- Bitzer (2014). *Crankcase heater*. BITZER Kuhlmaschinenbau, Sindelfingen.
- Bitzer (2013). *Oil Pressure Monitoring*. BITZER Kuhlmaschinenbau, Sindelfingen.
- Bitzer (2020a). *Refrigerant Report 21*. BITZER Kuhlmaschinenbau, Sindelfingen.
- Bitzer (2020b). *Retrofit R22 or R404A/R507A - step by step*. BITZER Kuhlmaschinenbau, Sindelfingen.
- Bitzer (2006). *Start Unloading for BITZER Reciprocating Compressors*. BITZER Kuhlmaschinenbau, Sindelfingen.
- Blatz, N., Broughton, J., Poulsen, R., Legay, T. and Danfoss Cooling (2017). *Retrofit and High Glide Refrigerants*. Danfoss, Nordborg.
- Castel (2021). *Product Catalogue*. Castel Srl, Pessano con Borgano.
- Çengel, Y. and Boles, M. (2006). *Thermodynamics: An Engineering Approach*. McGraw-Hill, New York.
- Centauro (s.d.a). *Condensadores industriais ACI*. Centauro Internacional - Trocadores de Calor, Castelo Branco.
- Centauro (s.d.b). *Evaporadores cúbicos MTA MTB DDC DDL DXL*. Centauro Internacional - Trocadores de Calor, Castelo Branco.
- Centauro (s.d.c). *Evaporadores de duplo fluxo CBK CBN CBL*. Centauro Internacional - Trocadores de Calor, Castelo Branco.
- Chemours (2016). *Opteon XP40 (R-449A) Refrigerant Product Comparison*. The Chemours Company Fc, Wilmington.
- Coldkit (s.d.). *Catálogo Matrix*. Purever Industrial Solutions, Nelas.

- Creus, J. (1978). *Tratado Prático de Refrigeração Automática*. Dinalivro, Lisboa.
- Danfoss (s.d.). <https://www.danfoss.com/en/about-danfoss/our-businesses/cooling/refrigerants-and-energy-efficiency/refrigerant-faq-r404a/>. Danfoss (website oficial), Nordborg.
- EC (s.d.). https://ec.europa.eu/clima/policies/f-gas/legislation_en. European Comission (website oficial), Brussels.
- EEA (s.d.). <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/overview-of-the-electricity-production-3/assessment-1>. European Environmental Agency (website oficial), Brussels.
- ESK (2019). *ESK Components for cooling, air conditioning and heat pump systems 2019*. ESK Schultz, Velten.
- McLinden, M. and Huber, M. (2020). *(R)Evolution of Refrigerants*. Journal of Chemical & Engineering Data, Vol. 65, Issue 9, pp. 4176-4193.
- Monteiro, V. (2015). *Refrigeração I: Técnicas e Competências Ambientais - Bases e Fundamentos*. ETEP - Edições Técnicas e Profissionais, Lisboa.
- Monteiro, V. (2016). *Refrigeração II: Técnicas e Competências Ambientais - Aplicações e Certificação*. ETEP - Edições Técnicas e Profissionais, Lisboa.
- Pecomark (2019). *Catálogo 2019*. Pecomark Portugal - Comércio de Equipamentos de Frio e Ar Condicionado, Coimbra.
- UNEP (s.d.). <https://www.unep.org/ozonaction/who-we-are/about-montreal-protocol>. UNEP - UN Environmental Programme (website oficial), Nairobi.
- Whitman, W., Johnson, W., Tomczyk, J. and Silberstein, E. (2012). *Refrigeration and Air Conditioning Technology*. Cengage Learning, Boston.
- Wirz, D. (2017). *Commercial Refrigeration for Air Conditioning Technicians*. Cengage Learning, Boston.

APÊNDICES / ANEXOS

Apêndice I – Planta da instalação

Apêndice II – Diagrama do circuito frigorífico das câmaras de frescos (NP EN 1861:2000)

Apêndice III – Diagrama do circuito frigorífico das câmaras de congelados (NP EN 1861:2000)

Anexo I – Ciclo de compressão de vapor de média temperatura (Chemours Refrigerant Expert)

Anexo II – Ciclo de compressão de vapor de baixa temperatura (Chemours Refrigerant Expert)

Anexo III – Relatório automático da seleção de equipamentos para o circuito das câmaras de frescos (Bitzer Software)

Anexo IV – Relatório automático da seleção de equipamentos para o circuito das câmaras de congelados (Bitzer Software)

Anexo V – Relatório automático da seleção de válvulas e componentes para o circuito das câmaras de frescos (Coolselector2)

Anexo VI – Relatório automático da seleção de válvulas e componentes para o circuito das câmaras de congelados (Coolselector2)

Anexo VII – Relatório automático da seleção de válvulas de segurança (Coolselector2)

Anexo VIII – Relatório automático de válvulas e componentes do circuito das câmaras de frescos operando a R449A (Coolselector2)

Anexo IX – Relatório automático de válvulas e componentes do circuito das câmaras de congelados operando a R449A (Coolselector2)

Casa de
máquinas

Câmara frigorífica 1
20 x 10 x 7 m
-1 / +1 °C
95% H.R.

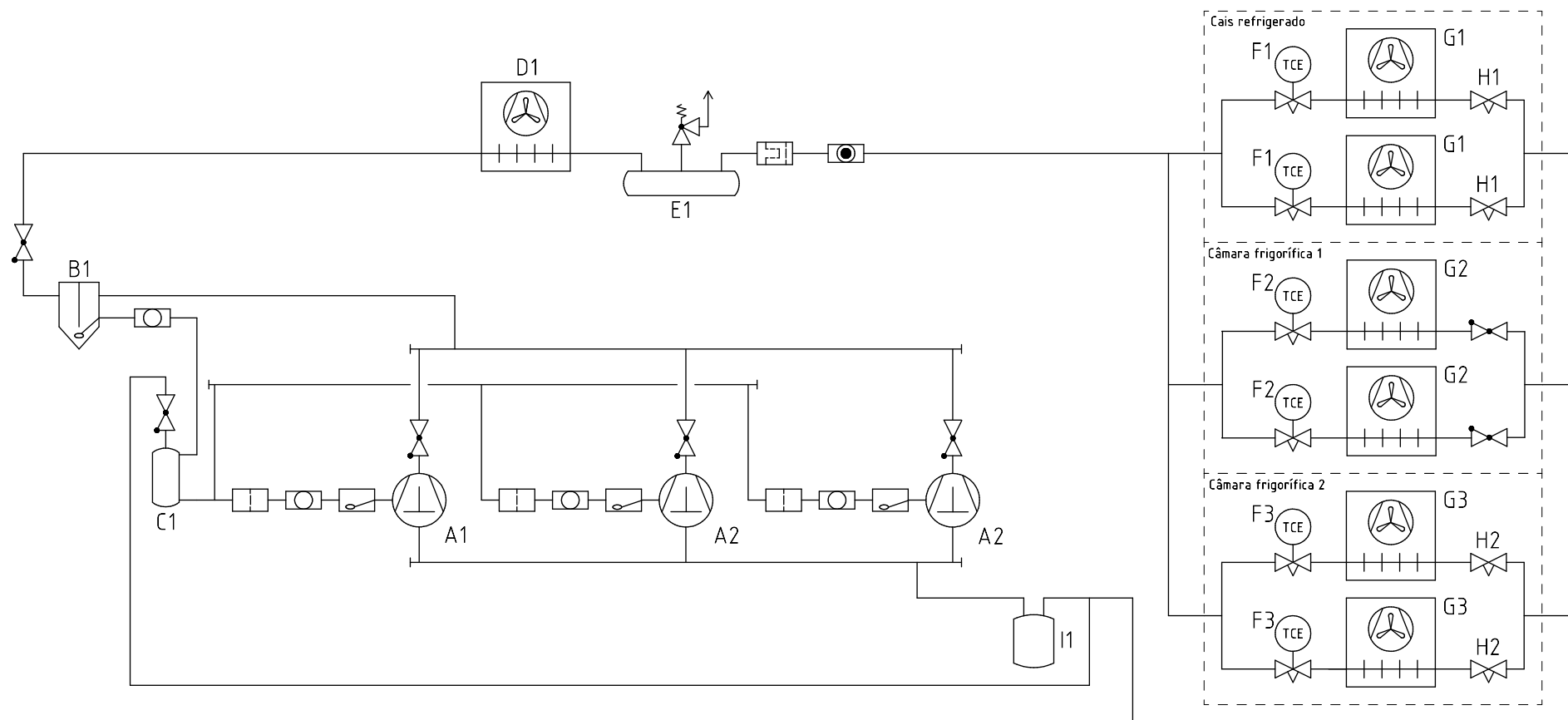
Câmara frigorífica 2
20 x 10 x 7 m
+1 / +6 °C
90% H.R.

Câmara frigorífica 3
20 x 10 x 7 m
-18 / -16 °C
80% H.R.

Câmara frigorífica 4
20 x 10 x 7 m
-18 / -16 °C
90% H.R.

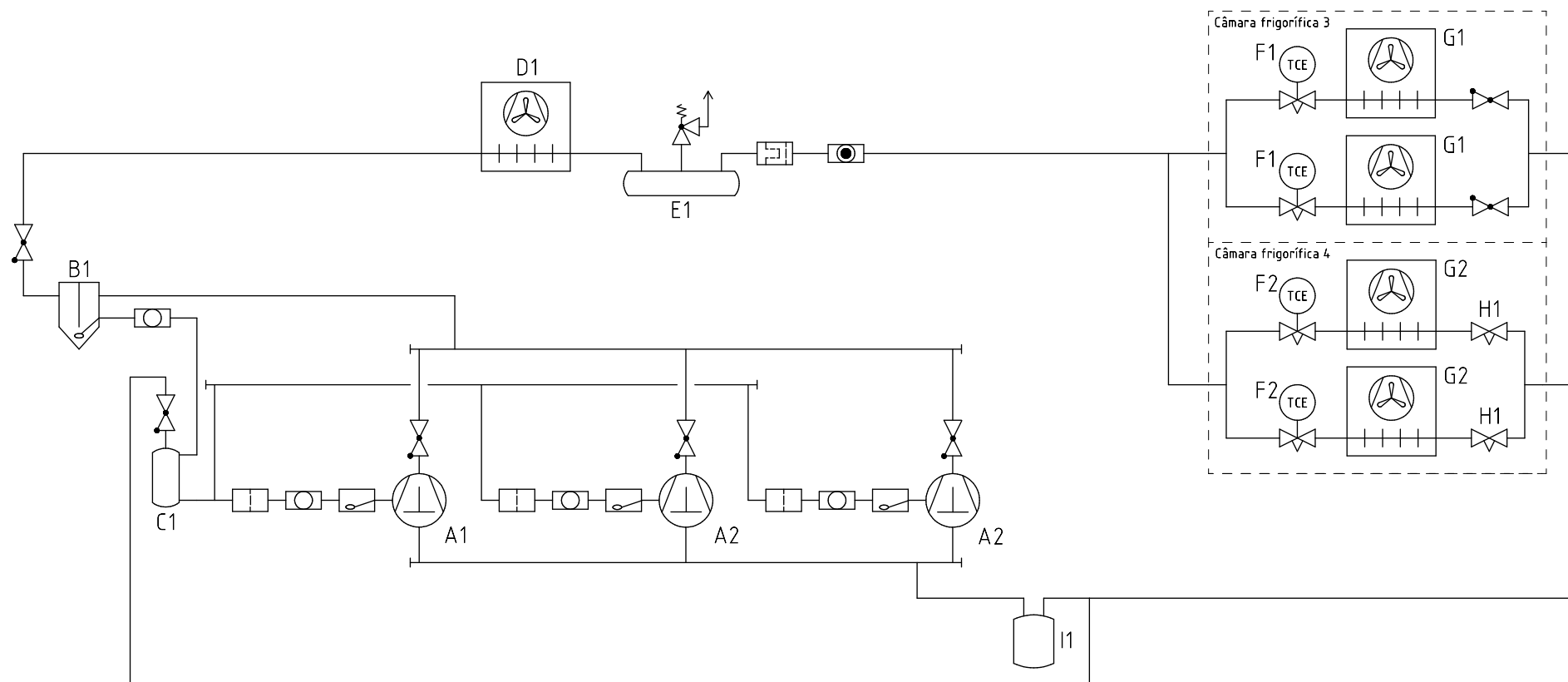
Cais refrigerado
40 x 5 x 5 m
+10 / +12 °C
70% H.R.

Desenhou:	Verificou:	Aprovou:		Data:	
Daniel Loureiro					
 isec Politécnico de Coimbra			Planta da instalação		
				Revisão	Folha 1 / 1



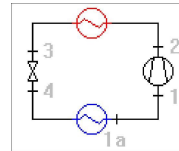
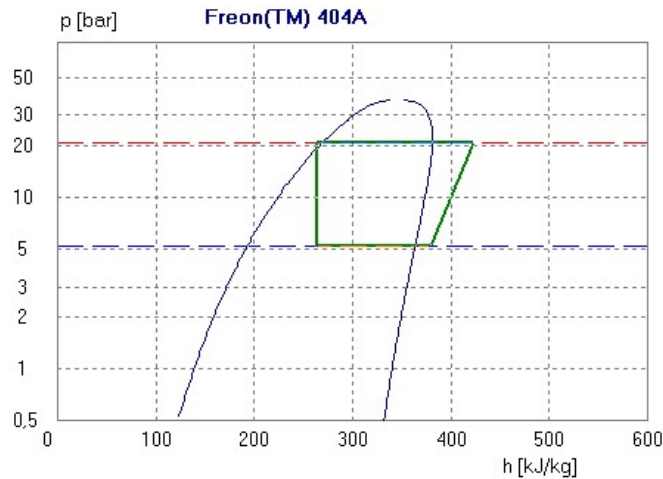
I1	1	Separador de aspiração ESK FA-54-7
H2	2	Válvula reguladora da pressão de evaporação Danfoss KVS 42
H1	2	Válvula reguladora da pressão de evaporação Danfoss KVS 42
G3	2	Evaporador cúbico de tubo alhetado a ar forçado Centauro MTB 6M2/34
G2	2	Evaporador cúbico de tubo alhetado a ar forçado Centauro MTB 6P1/25
G1	2	Evaporador de duplo fluxo de tubo alhetado a ar forçado Centauro CBK 4B4/12 R
F3	2	Válvula de expansão eletrónica Danfoss AKV 15-2
F2	2	Válvula de expansão eletrónica Danfoss AKV 15-1
F1	2	Válvula de expansão eletrónica Danfoss AKV 10-7
E1	1	Depósito de líquido Bitzer F1602N
D1	1	Condensador a ar forçado Centauro ACI/E 363/153Y
C1	1	Depósito de óleo ESK OSA-11
B1	1	Separador de óleo ESK OS-42FY
A2	2	Compressor alternativo semi-hermético Bitzer 4VES-7Y-40P
A1	1	Compressor alternativo semi-hermético Bitzer 4NES-20Y-40P
Ref.	Qtd.	Descrição

Desenhou:	Verificou:	Aprovou:	Data:
Daniel Loureiro			
			Diagrama do circuito frigorífico das câmaras de frescos
			Revisão
			Folha
			1 / 1



I1	1	Separador de aspiração ESK FA-67T
H1	2	Válvula reguladora da pressão de evaporação Danfoss KVS 42
G2	2	Evaporador cúbico de tubo alhetado a ar forçado Centauro DDC 8P2/35
G1	2	Evaporador cúbico de tubo alhetado a ar forçado Centauro DDC 8P1/22
F2	2	Válvula de expansão eletrónica Danfoss AKV 15-2
F1	2	Válvula de expansão eletrónica Danfoss AKV 15-1
E1	1	Depósito de líquido Bitzer F2202N
D1	1	Condensador a ar forçado Centauro ACI/E 363/171T
C1	1	Depósito de óleo ESK OSA-11
B1	1	Separador de óleo ESK OS-42FY
A2	2	Compressor alternativo semi-hermético Bitzer 4JE-15Y-40P
A1	1	Compressor alternativo semi-hermético Bitzer 4FE-28Y-40P
Ref.	Qtd.	Descrição

Desenhou:	Verificou:	Aprovou:	Data:
Daniel Loureiro			
			Diagrama do circuito frigorífico das câmaras de congelados
			Revisão
			Folha
			1 / 1

**Pressure Loss dp [bar]**

- Pressure Line + Condenser	0,00	Refr. Capacity Qo [kW]
- Evaporator	0,00	77,80
- Suction Line	0,00	Compressor Power [kW]

Compressor

- Isentropic Efficiency [-]	0,70	33,07
- Volumetric Efficiency [-]	1,0	Condenser Heat Qc [kW]
- Pressure Ratio p2/p1 [-]	4,027	121,00
- Pressure Difference p2-p1 [bar]	15,548	COP [-]
		2,35

Condensation tc [C]	45,5
Mean Temperature [C]	45,3
Condensation Pressure pc [bar]	20,6846

Evaporation to [C]

Mean Temperature [C]	-5,0
Evaporation Pressure po [bar]	5,1365

Subcooling [K]**Superheat (Evaporator) [K]****Superheat (Suction Line) [K]**

Mass Flow [kg/s]	0,7580
------------------	--------

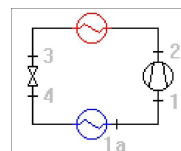
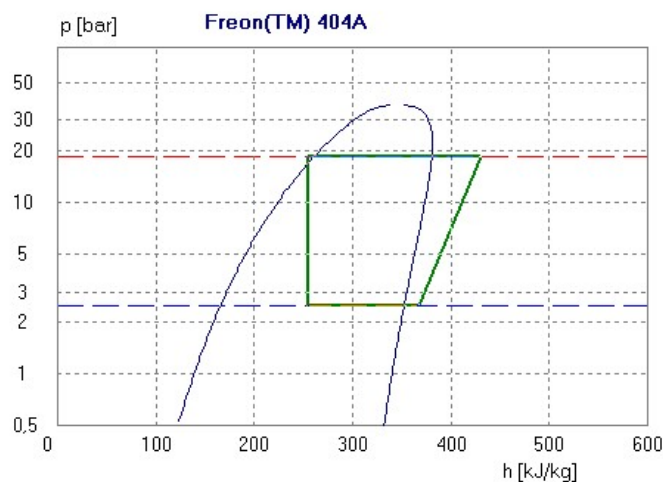
Theoret. Displacement [m3/h]

Volumetric Capacity [kJ/m3]	2427,9
-----------------------------	--------

Properties

	t [°C]	p [bar]	h [kJ/kg]	s [kJ/kgK]	v [dm3/kg]	x [%]
1a	-1,80	5,1365	366,29	1,6209	39,0831	
1	12,20	5,1365	379,66	1,6689	42,2711	
2	77,10	20,6846	423,28	1,7069	11,2414	
3	42,19	20,6846	263,66	1,2115	1,0477	
4	-5,11	5,1365	263,66	1,2380	16,4547	41,6
1-2			43,63			
1-2s			30,54			

23/06/2021

**Pressure Loss dp [bar]**

- Pressure Line + Condenser	0,00	Refr. Capacity Qo [kW]
- Evaporator	0,00	60,00
- Suction Line	0,00	Compressor Power [kW]

Compressor

- Isentropic Efficiency [-]	0,70	38,62
- Volumetric Efficiency [-]	1,0	Condenser Heat Qc [kW]
- Pressure Ratio p2/p1 [-]	7,362	107,12
- Pressure Difference p2-p1 [bar]	15,872	COP [-]
		1,55

Condensation tc [C]	40,5
Mean Temperature [C]	40,3
Condensation Pressure pc [bar]	18,3668

Evaporation to [C]

Mean Temperature [C]	-25,0
Evaporation Pressure po [bar]	2,4948

Subcooling [K]**Superheat (Evaporator) [K]****Superheat (Suction Line) [K]**

Mass Flow [kg/s]	0,6125
------------------	--------

Theoret. Displacement [m3/h]

Volumetric Capacity [kJ/m3]	1156,8
-----------------------------	--------

Properties

	t [°C]	p [bar]	h [kJ/kg]	s [kJ/kgK]	v [dm3/kg]	x [%]
1a	-23,80	2,4948	353,31	1,6260	77,9861	
1	-7,80	2,4948	367,19	1,6799	84,6766	
2	80,31	18,3668	430,24	1,7347	13,3682	
3	37,17	18,3668	255,36	1,1858	1,0169	
4	-25,13	2,4948	255,36	1,2310	37,6221	48,0
1-2			63,04			
1-2s			44,13			

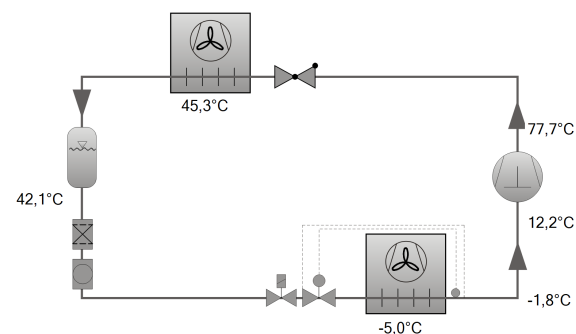
23/06/2021



Selection: Semi-hermetic Reciprocating Compressors

Input Values

Compressor type	Recips, semi-hermetic
Mode	Refrigeration and Air conditioning
Refrigerant	R404A
Reference temperature	Mean temperature
Liq. subc. (in condenser)	3,00 K
Suct. gas superheat	17,00 K
Operating mode	Auto
Power supply	400V-3-50Hz
Useful superheat	3,00 K



Overview

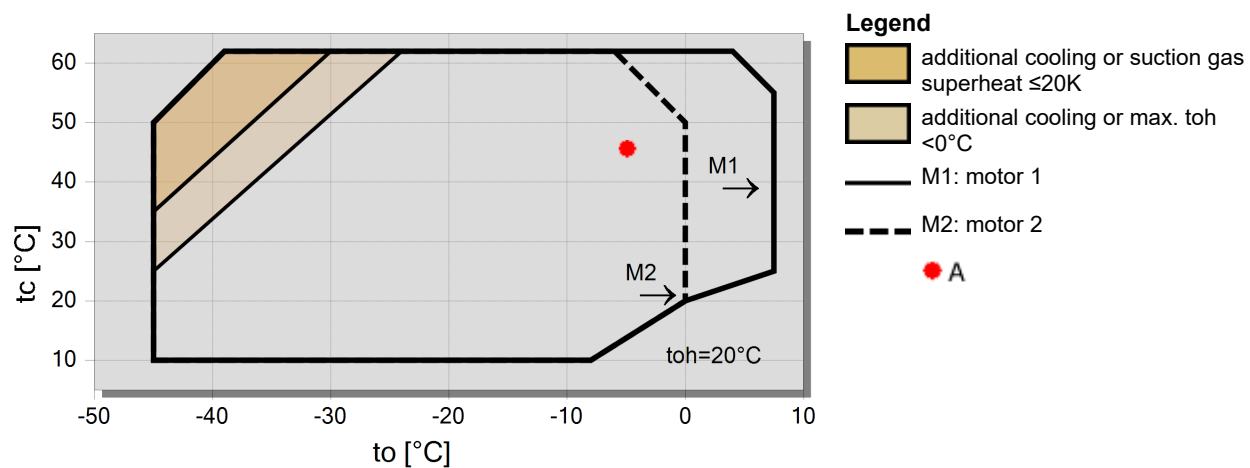
	A			
	Qe	Pe	EER	Ratio
Evaporating SST	-5,00	°C		
Condensing SDT	45,3	°C		
	kW	kW	W/W	%
Total	78,0	34,4	2,27	--
4NES-20Y-40P	40,1	17,52	2,29	51,4
4VES-7Y-40P	18,96	8,45	2,24	24,3
4VES-7Y-40P	18,96	8,45	2,24	24,3



Application Limits

4NES-20, 4VES-7

100% 4NES-20, 4VES-7





Result

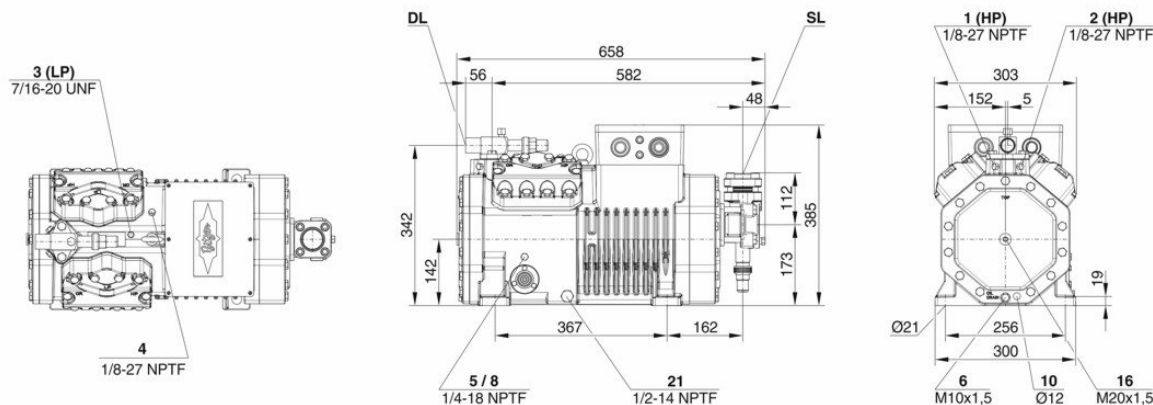
A				
Evaporating SST	-5,00 °C			
Condensing SDT	45,3 °C			
Compressor	Total	4NES-20Y	4VES-7Y	4VES-7Y
Frequency compressor		64,0 Hz	50Hz	50Hz
Cooling capacity	88,2 kW	45,3 kW	21,4 kW	21,4 kW
Cooling capacity *	--	44,7 kW	21,1 kW	21,1 kW
Evaporator capacity	78,0 kW	40,1 kW	18,96 kW	18,96 kW
Ratio	--	51,4 %	24,3 %	24,3 %
Power input	34,4 kW	17,52 kW	8,45 kW	8,45 kW
Current (400V)	57,1 A	28,7 A	14,20 A	14,20 A
Condenser capacity	122,8 kW	62,9 kW	29,9 kW	29,9 kW
COP/EER	2,27	2,29	2,24	2,24
COP/EER *	--	2,56	2,51	2,51
Mass flow	2750 kg/h	1413 kg/h	668 kg/h	668 kg/h
min. cooling capacity	--	14,85 kW (25 Hz)	--	--
max. cooling capacity	--	41,3 kW (66 Hz)	--	--
Discharge gas temp. w/o cooling	77,7 °C	77,4 °C	78,1 °C	78,1 °C

Consider notes in detailed resp. part load calculation!



Technical Data: 4NES-20Y

Dimensions and Connections



Technical Data

Technical Data

Displacement (1450 RPM 50Hz)	56,25 m3/h
Displacement (1750 RPM 60Hz)	67,89 m3/h
No. of cylinder x bore x stroke	4 x 70 mm x 42 mm
Weight	157 kg
Max. pressure (LP/HP)	19 / 32 bar
Connection suction line	42 mm - 1 5/8"
Connection discharge line	28 mm - 1 1/8"
Oil type R134a/R407C/R404A/R507A/R407A/R407F	BSE32(Standard) R134a tc>70°C: BSE55 (Option)
Oil type R22 (R12/R502)	B5.2(Option)
Oil type R1234yf	BSE32 (Standard) R1234yf tc>70°C : BSE55 (Option)
Oil type R1234ze	BSE55 (Standard) to>15°C: BSE85K (Option) tc>70°C: BSE85K (Option)
Ölfüllung R454C/R455A	BSE32 (Standard)

Motor data

Motor version	1
Motor voltage (more on request)	380-420V PW-3-50Hz
Max operating current	33.2 A
Winding ratio	50/50
Starting current (Rotor locked)	97.0 A Y / 158.0 A YY
Max. Power input	19,0 kW

Extent of delivery (Standard)

Motor protection	SE-B1, CM-RC-01(Option)
Enclosure class	IP66
Vibration dampers	Standard
Oil charge	2,60 dm ³
Discharge shut-off valve	Standard
Suction shut-off valve	Standard

Available Options

Discharge gas temperature sensor	Option
Start unloading	Option
Capacity control	100-50% (Option)
Capacity Control - infinite	100-10% (Option)
Additional fan	Option
Oil service valve	Option
Crankcase heater	0..140 W PTC (Option)
Oil level monitoring	OLC-K1 (Option)

Sound measurement

Sound power level (+5°C / 50°C)	77,5 dB(A) @50Hz
Sound power level (-10°C / 45°C)	78,3 dB(A) @50Hz
Sound power level (-35°C / 40°C)	82,9 dB(A) @50Hz
Sound pressure level @ 1m (+5°C / 50°C)	69,5 dB(A) @50Hz
Sound pressure level @ 1m (-10°C / 45°C)	70,3 dB(A) @50Hz
Sound pressure level @ 1m (-35°C / 40°C)	74,9 dB(A) @50Hz
Sound power level (+5°C / 50°C) R134a	75,5 dB(A) @50Hz
Sound power level (-10°C / 45°C) R134a	76,3 dB(A) @50Hz



Circuito das câmaras de frescos

BITZER Software v6.17.2 rev2594

23/06/2021 / All data subject to change.

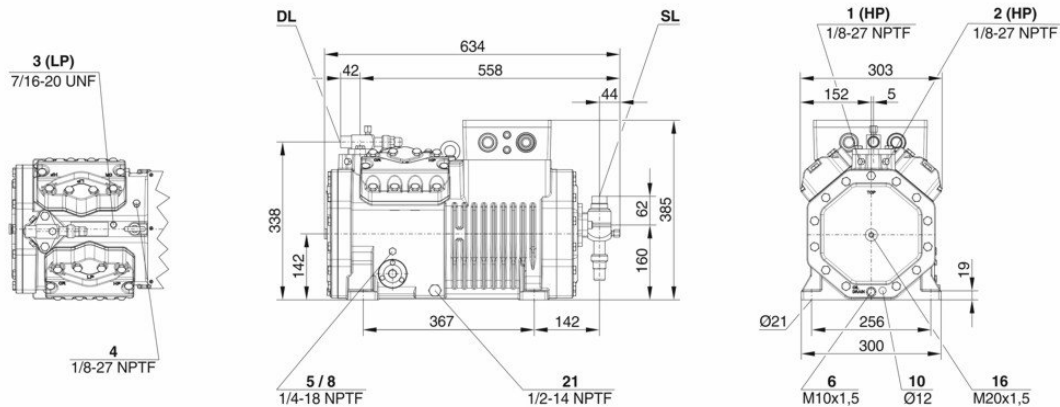
5 / 15

Sound pressure level @ 1m (+5°C / 50°C) R134a
Sound pressure level @ 1m (-10°C / 45°C) R134a

67,5 dB(A) @50Hz
68,3 dB(A) @50Hz

Technical Data: 4VES-7Y

Dimensions and Connections



Technical Data

Technical Data

Displacement (1450 RPM 50Hz)	34,73 m3/h
Displacement (1750 RPM 60Hz)	41,92 m3/h
No. of cylinder x bore x stroke	4 x 55 mm x 42 mm
Weight	139 kg
Max. pressure (LP/HP)	19 / 32 bar
Connection suction line	28 mm - 1 1/8"
Connection discharge line	22 mm - 7/8"
Oil type R134a/R407C/R404A/R507A/R407A/R407F	BSE32(Standard) R134a tc>70°C: BSE55 (Option)
Oil type R22 (R12/R502)	B5.2(Option)
Oil type R1234yf	BSE32 (Standard) R1234yf tc>70°C : BSE55 (Option)
Oil type R1234ze	BSE55 (Standard) to>15°C: BSE85K (Option) tc>70°C: BSE85K (Option)
Ölfüllung R454C/R455A	BSE32 (Standard)
Oil type R515B	BSE55 (Standard) to>15°C: BSE85K (Option) tc>70°C: BSE85K (Option)

Motor data

Motor version	2
Motor voltage (more on request)	380-420V PW-3-50Hz
Max operating current	16.6 A
Winding ratio	50/50
Starting current (Rotor locked)	39.0 A Y / 68.0 A YY
Max. Power input	11,0 kW

Extent of delivery (Standard)

Motor protection	SE-B1, CM-RC-01(Option)
Enclosure class	IP66
Vibration dampers	Standard
Oil charge	2,60 dm³
Discharge shut-off valve	Standard
Suction shut-off valve	Standard

Available Options

Available Options	
Discharge gas temperature sensor	Option
Start unloading	Option
Capacity control	100-50% (Option)
Capacity Control - infinite	100-10% (Option)
Additional fan	Option
Refrigerant Injection (RI)	Option
Oil service valve	Option
Crankcase heater	0..140 W PTC (Option)
Oil level monitoring	OLC-K1 (Option)

Sound measurement

Sound power level (-10°C / 45°C)	72,3 dB(A) @50Hz
Sound power level (-35°C / 40°C)	77,4 dB(A) @50Hz
Sound pressure level @ 1m (-10°C / 45°C)	64,3 dB(A) @50Hz
Sound pressure level @ 1m (-35°C / 40°C)	69,4 dB(A) @50Hz
Sound power level (-10°C / 45°C) R134a	70,3 dB(A) @50Hz



Sound pressure level @ 1m (-10°C / 45°C) R134a

62,3 dB(A) @50Hz



Semi-hermetic Reciprocating Compressors

Motor 1 = e.g. 4TES-12 with 12 "HP", primary for air-conditioning (e.g. R22,R407C) and air-conditioning with R134a at high ambient temperatures.

Motor 2 = e.g. 4TES-9 with 8 "HP", universal Motor for medium and low temperature application (e.g. R404A, R507A, R407A, R407F) and air-conditioning with R134a

Motor 3 = e.g. 4TES-8, for medium temperature applications and R134a

For more information concerning the application range use the "Limits" button.

Operation modes 4VES-7 to 6FE-44 and 44JE-30 to 66FE-88 with R407F/R407A/R22

CIC = liquid injection with low temperature application, suction gas cooled motor.

ASERCOM certified performance data

The Association of European Refrigeration Component Manufacturers has implemented a procedure of certifying performance data. The high standard of these certifications is assured by:

- * plausibility tests of the data performed by experts.
- * regular measurements at independent institutes.

These high efforts result in the fact that only a limited number of compressors can be submitted. Due to this not all BITZER compressors are certified until now. Performance data of compressors which fulfil the strict requirements may carry the label "ASERCOM certified". In this software you will find the label at the respective compressors on the right side below the field "result" or in the print out of the performance data. All certified compressors and further information are listed on the homepage of ASERCOM.

Condensing capacity

The condensing capacity can be calculated with or without heat rejection. This option can be set in the menu Program □ Options. The heat rejection is constantly 5 % of the power consumption. The condensing capacity is to be found in the line Condensing cap. (with HR) resp. Condensing capacity.

Data for sound emission

Data based on 50 HZ application (IP-units 60 Hz) and R404A if not declared.

Sound pressure level: values based on free field area conditions with hemispherical sound emission in 1 meter distance.

General remarks regarding sound data

Listed sound data were measured under testing conditions in our laboratory. For this purpose the free-standing test sample is mounted on a solid foundation plate and the pipework is connected vibration-free to the largest extent possible. Suction and discharge lines are fixed in a flexible configuration, such that a transmission of vibrations to the environment can be largely excluded. In real installations considerable differences might be observed, compared to the measurements in the laboratory. The airborne sound emitted by the compressor can be reflected from surfaces of the system and this may increase the airborne sound level measured close to the compressor. Vibrations caused by the compressor are also transferred to the system by the compressor feet and piping depending on the damping ratio of the fixings. Thus, the vibrations can induce other components to such an extent that these components contribute to an increase in airborne sound emission. If required, the transfer of vibrations to the system can be minimized by suitable fixing and damping elements.

Legend of connection positions according to "Dimensions":

- 1 High pressure connection (HP)
- 2 Connection for discharge gas temperature sensor (HP) (for 4VE(S)-6Y .. 4NE(S)-20(Y) connection for CIC sensor as alternative)
- 3 Low pressure connection (LP)
- 4 CIC system: injection nozzle (LP)
- 4b Connection for CIC sensor
- 4c Connection for CIC sensor (MP / operation with liquid subcooler)
- 5 Oil fill plug
- 6 Oil drain
- 7 Oil filter (magnetic screw)
- 8 Oil return (oil separator)
- 8* Oil return with NH3 and insoluble oil
- 9 Connection for oil and gas equalization (parallel operation)
- 9a Connection for gas equalization (parallel operation)
- 9b Connection for oil equalization (parallel operation)
- 10 Oil heater connection
- 11 Oil pressure connection +
- 12 Oil pressure connection –
- 13 Cooling water connection
- 14 Intermediate pressure connection (MP)
- 15 Liquid injection (operation without liquid subcooler and with thermostatic expansion valve)
- 16 Connection for oil monitoring (opto-electrical oil monitoring "OLC-K1" or differential oil pressure switch "Delta-P11")



- 17 Refrigerant inlet at liquid subcooler
 - 18 Refrigerant outlet at liquid subcooler
 - 19 Clamp space
 - 20 Terminal plate
 - 21 Maintenance connection for oil valve
 - 22 Pressure relief valve to the atmosphere (discharge side)
 - 23 Pressure relief valve to the atmosphere (suction side)
 - 24 IQ MODULE
 - SL Suction gas line
 - DL Discharge gas line
- Dimensions can show tolerances according to EN ISO 13920-B.



Selection: VARIPACK

Input Values

Operating point Auto

Operating Points

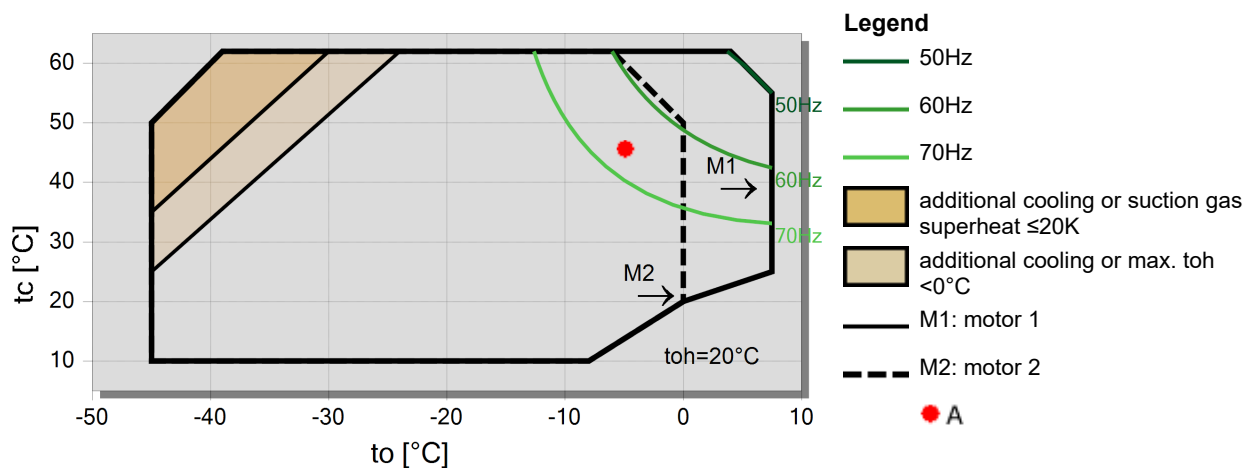
A
to [°C] -5
tc [°C] 45,3

Result

Compressor:	4NES-20Y
Recommendation:	FOY+39-4
Selection	FOY+39-4
Frequency compressor:	64 Hz
Recommended operating point:	A
Selected operating point:	A
Power input	18,01 kW
Current (400V)	26,25 A
Max. current	30,36 A
min. cooling capacity	13,41 kW (25 Hz)
max. cooling capacity	37,29 kW (66 Hz)
Frequency range	25 Hz..66 Hz
Enclosure class	IP66

#1: Power consumption at frequency inverter inlet.

100%

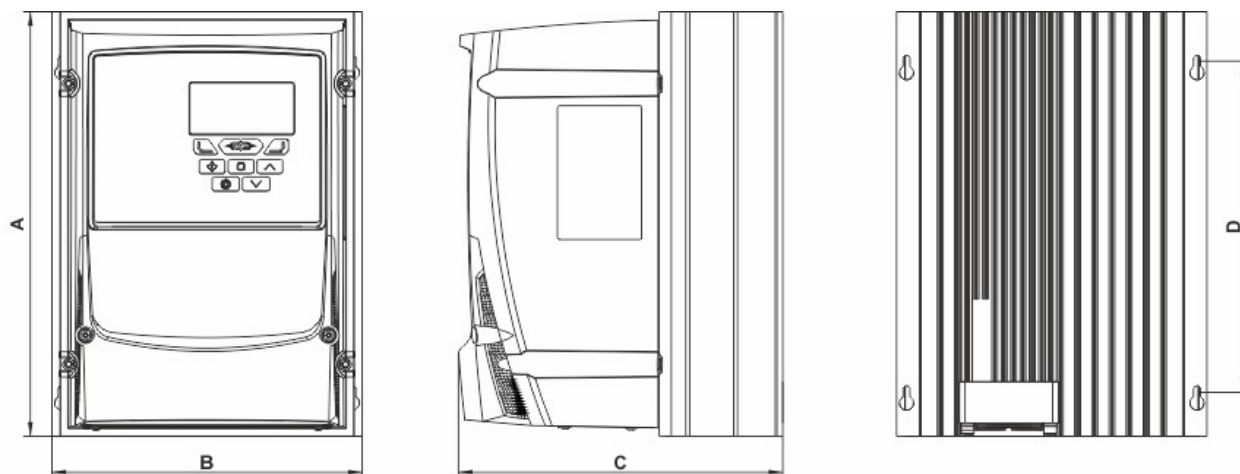


The restriction of the application limit is caused by the compressor. Right or above the frequency lines the operating current would be greater than the maximum allowed value. Select a larger motor version or a special voltage motor, if you need a wider range of the application limit.



Technical Data: FOY+39-4

Dimensions and Connections



	A	B	C	D	E
	mm	mm	mm	mm	mm
FMY+6-4, FMY+10-4	257	188	172	200	176
FMY+14-4	257	188	196	200	176
FNY+18-4, FNY+24-4, FNY+30-4	310	211	225	252	198
FOY+39-4, FOY+46-4	360	240	260	300	227





Selection: Horizontal receivers

Input Values

Common	Yes
Auto	
Operating point	Auto

Operating Points

	A
to [°C]	-5
tc [°C]	45,3

Result

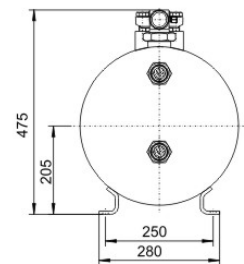
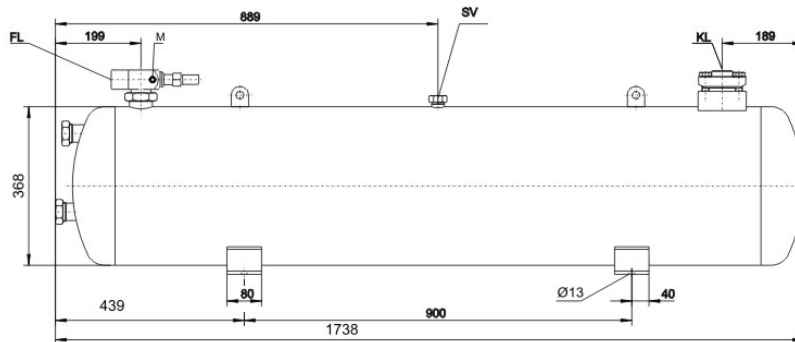
Compressor:	4NES-20Y
Recommendation:	F1602N
Selection	F1602N
Recommended operating point:	A
Selected operating point:	A
Receiver volume	160,0 dm ³
max refrigerant charge	153,8 kg
receiver load	82,8 %
Receiver unit	--
lower fixing rails	--
upper fixing rails	--
upper fixing plate	--

#1: Receiver selection for compact systems without condensing pressure control. Precise calculation only via refrigerant charge (see notes).



Technical Data: F1602N

Dimensions and Connections



Technical Data

Technical Data

Weight	127,0 kg
Total width	1738 mm
Total depth	368 mm
Total height	475mm
Receiver volume refrigerant	160,0 l
Max. refrigerant charge 90% at 20°C / 68°F	
R22	174,3 kg
R134a	176,5 kg
R407C	166,9 kg
R404A/R507A	153,8 kg
R448A	160,3 kg
R449A	160,9 kg
R450A	171,7 kg
R454C	144,5 kg
R455A	149,9 kg
R513A	176,3 kg
R1234yf	159,9 kg
R1234ze	169,6 kg
R515B	172,3 kg
Max. pressure	33 bar
Max. Operating Temperature	120°C
Connection inlet KL	54mm - 2 1/8"
Connection thread/ -flange	112x 112
Connection outlet FL	42mm - 1 5/8"
Connection thread/ -flange	2 1/4" - 12 UN
Gauge	7/16" 20UNF
Connection for pressure relief valve	1 1/4"-12UNF
Adapter for pressure relief valve	Option
Minimum level control	Option
Maximum level control	Option
Electric liquid level control	Option
*According PED 2014/68/EU	Standard
Special Approvals (on request)	Option



Selection of the receivers:

1) "Approx. according to cooling capacity":

The receiver volume is determined by the design of the unit, the operating mode and the function of the receiver (receiving the complete refrigerant charge in the receiver or only compensating capacity variations). When selected via cooling capacity, an approximate selection of the receiver is obtained. Receivers in systems with long pipelines, winter control or in very compact systems should be selected according to method 2).

2) "According to refrigerant charge in the receiver":

The calculation is made on the basis of the specified refrigerant charge. The receiver volume is determined at 20°C and at a maximum filling charge of 95% of the possible receiver content.

Compressor units equipped with receiver

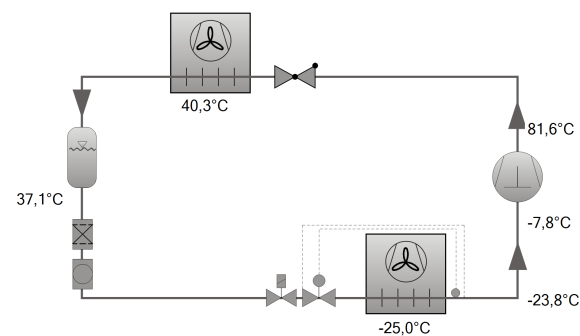
The BITZER range of products comprises compressor units with horizontal receivers. In the output window of the accessories these units, which are included in the standard delivery, are marked with "mounted" in the compressor unit line. Units that can be mounted, but are not included in the Bitzer delivery program, are marked with "single parts". Units in which the compressor does not fit onto the receiver are marked with "--".



Selection: Semi-hermetic Reciprocating Compressors

Input Values

Compressor type	Recips, semi-hermetic
Mode	Refrigeration and Air conditioning
Refrigerant	R404A
Reference temperature	Mean temperature
Liq. subc. (in condenser)	3,00 K
Suct. gas superheat	17,00 K
Operating mode	Auto
Power supply	400V-3-50Hz
Useful superheat	1,00 K



Overview

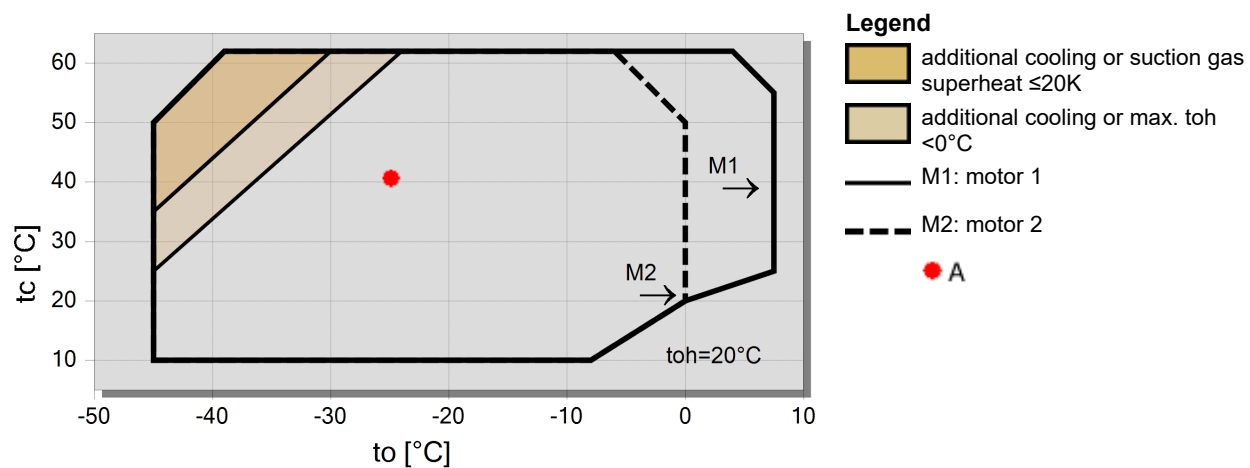
	A			
	Evaporating SST	-25,00	°C	
	Condensing SDT	40,3	°C	
	Qe	Pe	EER	Ratio
	kW	kW	W/W	%
Total	60,4	40,4	1,50	--
4FE-28Y-40P	30,1	20,6	1,46	49,8
4JE-15Y-40P	15,17	9,90	1,53	25,1
4JE-15Y-40P	15,17	9,90	1,53	25,1



Application Limits

4FE-28, 4JE-15

100% 4FE-28, 4JE-15





Result

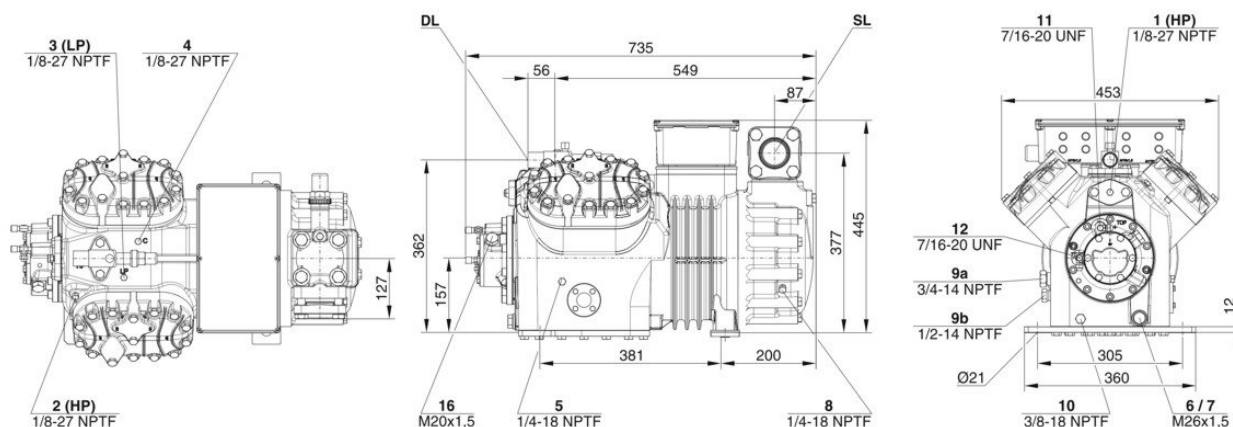
	A			
Evaporating SST	-25,00 °C			
Condensing SDT	40,3 °C			
Compressor	Total	4FE-28Y	4JE-15Y	4JE-15Y
Frequency compressor		60,0 Hz	50Hz	50Hz
Cooling capacity	69,0 kW	34,4 kW	17,32 kW	17,32 kW
Cooling capacity *	--	36,7 kW	18,49 kW	18,49 kW
Evaporator capacity	60,4 kW	30,1 kW	15,17 kW	15,17 kW
Ratio	--	49,8 %	25,1 %	25,1 %
Power input	40,4 kW	20,6 kW	9,90 kW	9,90 kW
Current (400V)	71,7 A	34,9 A	18,38 A	18,38 A
Condenser capacity	109,5 kW	54,9 kW	27,2 kW	27,2 kW
COP/EER	1,50	1,46	1,53	1,53
COP/EER *	--	1,79	1,88	1,88
Mass flow	2231 kg/h	1111 kg/h	560 kg/h	560 kg/h
min. cooling capacity	--	12,42 kW (25 Hz)	--	--
max. cooling capacity	--	34,1 kW (70 Hz)	--	--
Discharge gas temp. w/o cooling	81,6 °C	82,9 °C	80,3 °C	80,3 °C

Consider notes in detailed resp. part load calculation!



Technical Data: 4FE-28Y

Dimensions and Connections



Technical Data

Technical Data

Displacement (1450 RPM 50Hz)	101,8 m³/h
Displacement (1750 RPM 60Hz)	121,3 m³/h
No. of cylinder x bore x stroke	4 x 82 mm x 55 mm
Weight	207 kg
Max. pressure (LP/HP)	19 / 32 bar
Connection suction line	54 mm - 2 1/8"
Connection discharge line	28 mm - 1 1/8"
Oil type R134a/R407C/R404A/R507A/R407A/R407F	BSE32(Standard) R134a tc>70°C: BSE55 (Option)
Oil type R22 (R12/R502)	B5.2(Option)
Oil type R1234yf	BSE32 (Standard) R1234yf tc>70°C : BSE55 (Option)
Oil type R1234ze	BSE55 (Standard) to>15°C: BSE85K (Option) tc>70°C: BSE85K (Option)
Ölfüllung R454C/R455A	BSE32 (Standard)
Oil type R515B	BSE55 (Standard) to>15°C: BSE85K (Option) tc>70°C: BSE85K (Option)

Motor data

Motor version	2
Motor voltage (more on request)	380-420V PW-3-50Hz
Max operating current	52.8 A
Winding ratio	50/50
Starting current (Rotor locked)	141.0 A Y / 233.0 A YY
Max. Power input	31,0 kW

Extent of delivery (Standard)

Motor protection	SE-B2, CM-RC-01(Option)
Enclosure class	IP54 (Standard), IP66 (Option)
Vibration dampers	Standard
Oil charge	4,50 dm³
Discharge shut-off valve	Standard
Suction shut-off valve	Standard

Available Options

Discharge gas temperature sensor	Option
Start unloading	Option
Capacity control	100-50% (Option)
Capacity Control - infinite	100-10% (Option)
Additional fan	Option
Refrigerant Injection (RI)	Option
Oil service valve	Option
Crankcase heater	140 W (Option)
Oil pressure monitoring	MP54 (Option), Delta-PII

Sound measurement

Sound power level (-10°C / 45°C)	81,0 dB(A) @50Hz
Sound power level (-35°C / 40°C)	86,5 dB(A) @50Hz
Sound pressure level @ 1m (-10°C / 45°C)	73 dB(A) @50Hz
Sound pressure level @ 1m (-35°C / 40°C)	78,5 dB(A) @50Hz
Sound power level (-10°C / 45°C) R134a	79 dB(A) @50Hz



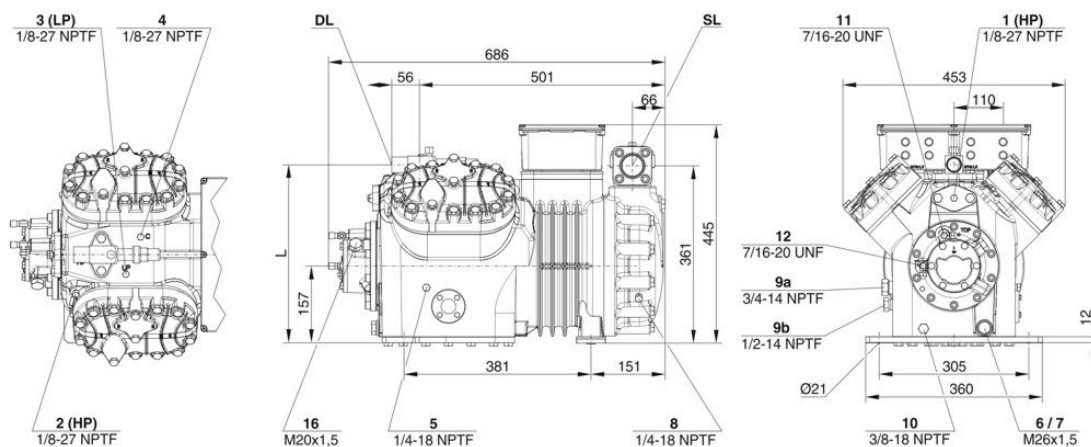
Sound pressure level @ 1m (-10°C / 45°C) R134a

71 dB(A) @50Hz



Technical Data: 4JE-15Y

Dimensions and Connections



Technical Data

Technical Data

Displacement (1450 RPM 50Hz)	63,5 m³/h
Displacement (1750 RPM 60Hz)	76,64 m³/h
No. of cylinder x bore x stroke	4 x 65 mm x 55 mm
Weight	192 kg
Max. pressure (LP/HP)	19 / 32 bar
Connection suction line	42 mm - 1 5/8"
Connection discharge line	28 mm - 1 1/8"
Oil type R134a/R407C/R404A/R507A/R407A/R407F	BSE32(Standard) R134a tc>70°C: BSE55 (Option)
Oil type R22 (R12/R502)	B5.2(Option)
Oil type R1234yf	BSE32 (Standard) R1234yf tc>70°C : BSE55 (Option)
Oil type R1234ze	BSE55 (Standard) to>15°C: BSE85K (Option) tc>70°C: BSE85K (Option)
Ölfüllung R454C/R455A	BSE32 (Standard)
Oil type R515B	BSE55 (Standard) to>15°C: BSE85K (Option) tc>70°C: BSE85K (Option)

Motor data

Motor version	2
Motor voltage (more on request)	380-420V PW-3-50Hz
Max operating current	30.8 A
Winding ratio	50/50
Starting current (Rotor locked)	97.0 A Y / 158.0 A YY
Max. Power input	19,0 kW

Extent of delivery (Standard)

Motor protection	SE-B2, CM-RC-01(Option)
Enclosure class	IP54 (Standard), IP66 (Option)
Vibration dampers	Standard
Oil charge	4,00 dm³
Discharge shut-off valve	Standard
Suction shut-off valve	Standard

Available Options

Discharge gas temperature sensor	Option
Start unloading	Option
Capacity control	100-50% (Option)
Capacity Control - infinite	100-10% (Option)
Additional fan	Option
Refrigerant Injection (RI)	Option
Oil service valve	Option
Crankcase heater	140 W (Option)
Oil pressure monitoring	MP54 (Option), Delta-PII

Sound measurement

Sound power level (-10°C / 45°C)	77,5 dB(A) @50Hz
Sound power level (-35°C / 40°C)	81,0 dB(A) @50Hz
Sound pressure level @ 1m (-10°C / 45°C)	69,5dB(A) @50Hz
Sound pressure level @ 1m (-35°C / 40°C)	73 dB(A) @50Hz
Sound power level (-10°C / 45°C) R134a	75,5 dB(A) @50Hz



Circuito das câmaras de congelados

BITZER Software v6.17.2 rev2594

23/06/2021 / All data subject to change.

7 / 15

Sound pressure level @ 1m (+5°C / 50°C) R134a

Sound pressure level @ 1m (-10°C / 45°C) R134a

67,5 dB(A) @50Hz



Semi-hermetic Reciprocating Compressors

Motor 1 = e.g. 4TES-12 with 12 "HP", primary for air-conditioning (e.g. R22,R407C) and air-conditioning with R134a at high ambient temperatures.

Motor 2 = e.g. 4TES-9 with 8 "HP", universal Motor for medium and low temperature application (e.g. R404A, R507A, R407A, R407F) and air-conditioning with R134a

Motor 3 = e.g. 4TES-8, for medium temperature applications and R134a

For more information concerning the application range use the "Limits" button.

Operation modes 4VES-7 to 6FE-44 and 44JE-30 to 66FE-88 with R407F/R407A/R22

CIC = liquid injection with low temperature application, suction gas cooled motor.

ASERCOM certified performance data

The Association of European Refrigeration Component Manufacturers has implemented a procedure of certifying performance data. The high standard of these certifications is assured by:

- * plausibility tests of the data performed by experts.

- * regular measurements at independent institutes.

These high efforts result in the fact that only a limited number of compressors can be submitted. Due to this not all BITZER compressors are certified until now. Performance data of compressors which fulfil the strict requirements may carry the label "ASERCOM certified". In this software you will find the label at the respective compressors on the right side below the field "result" or in the print out of the performance data. All certified compressors and further information are listed on the homepage of ASERCOM.

Condensing capacity

The condensing capacity can be calculated with or without heat rejection. This option can be set in the menu Program □ Options. The heat rejection is constantly 5 % of the power consumption. The condensing capacity is to be found in the line Condensing cap. (with HR) resp. Condensing capacity.

Data for sound emission

Data based on 50 HZ application (IP-units 60 Hz) and R404A if not declared.

Sound pressure level: values based on free field area conditions with hemispherical sound emission in 1 meter distance.

General remarks regarding sound data

Listed sound data were measured under testing conditions in our laboratory. For this purpose the free-standing test sample is mounted on a solid foundation plate and the pipework is connected vibration-free to the largest extent possible. Suction and discharge lines are fixed in a flexible configuration, such that a transmission of vibrations to the environment can be largely excluded. In real installations considerable differences might be observed, compared to the measurements in the laboratory. The airborne sound emitted by the compressor can be reflected from surfaces of the system and this may increase the airborne sound level measured close to the compressor. Vibrations caused by the compressor are also transferred to the system by the compressor feet and piping depending on the damping ratio of the fixings. Thus, the vibrations can induce other components to such an extent that these components contribute to an increase in airborne sound emission. If required, the transfer of vibrations to the system can be minimized by suitable fixing and damping elements.

Legend of connection positions according to "Dimensions":

- 1 High pressure connection (HP)
- 2 Connection for discharge gas temperature sensor (HP) (for 4VE(S)-6Y .. 4NE(S)-20(Y) connection for CIC sensor as alternative)
- 3 Low pressure connection (LP)
- 4 CIC system: injection nozzle (LP)
- 4b Connection for CIC sensor
- 4c Connection for CIC sensor (MP / operation with liquid subcooler)
- 5 Oil fill plug
- 6 Oil drain
- 7 Oil filter (magnetic screw)
- 8 Oil return (oil separator)
- 8* Oil return with NH3 and insoluble oil
- 9 Connection for oil and gas equalization (parallel operation)
- 9a Connection for gas equalization (parallel operation)
- 9b Connection for oil equalization (parallel operation)
- 10 Oil heater connection
- 11 Oil pressure connection +
- 12 Oil pressure connection –
- 13 Cooling water connection
- 14 Intermediate pressure connection (MP)
- 15 Liquid injection (operation without liquid subcooler and with thermostatic expansion valve)
- 16 Connection for oil monitoring (opto-electrical oil monitoring "OLC-K1" or differential oil pressure switch "Delta-P11")



- 17 Refrigerant inlet at liquid subcooler
 - 18 Refrigerant outlet at liquid subcooler
 - 19 Clamp space
 - 20 Terminal plate
 - 21 Maintenance connection for oil valve
 - 22 Pressure relief valve to the atmosphere (discharge side)
 - 23 Pressure relief valve to the atmosphere (suction side)
 - 24 IQ MODULE
 - SL Suction gas line
 - DL Discharge gas line
- Dimensions can show tolerances according to EN ISO 13920-B.



Selection: VARIPACK

Input Values

Operating point Auto

Operating Points

A
to [°C] -25
tc [°C] 40,3

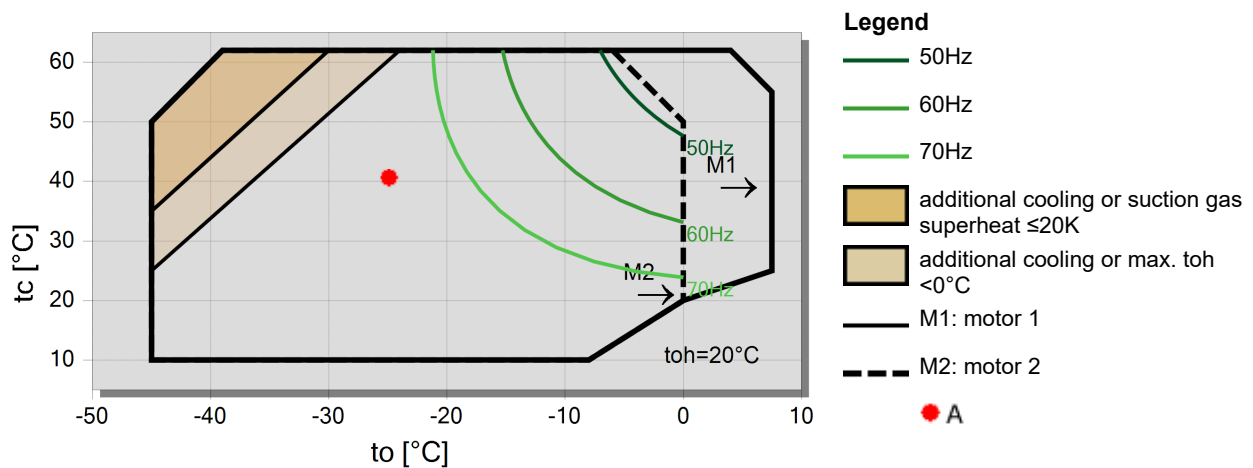
Result

Compressor:	4FE-28Y
Recommendation:	FRW+302-4
Selection	FRW+302-4
Frequency compressor:	58 Hz
Recommended operating point:	A
Selected operating point:	A
Power input	28,99 kW
Current (400V)	46,40 A
Max. current	52,28 A
min. cooling capacity	26,03 kW (25 Hz)
max. cooling capacity	61,20 kW (58 Hz)
Frequency range	25 Hz..58 Hz
Enclosure class	IP55

#1: Power consumption at frequency inverter inlet.

#1: Attention: Frequency range restricted. See result for maximum frequency.

100%

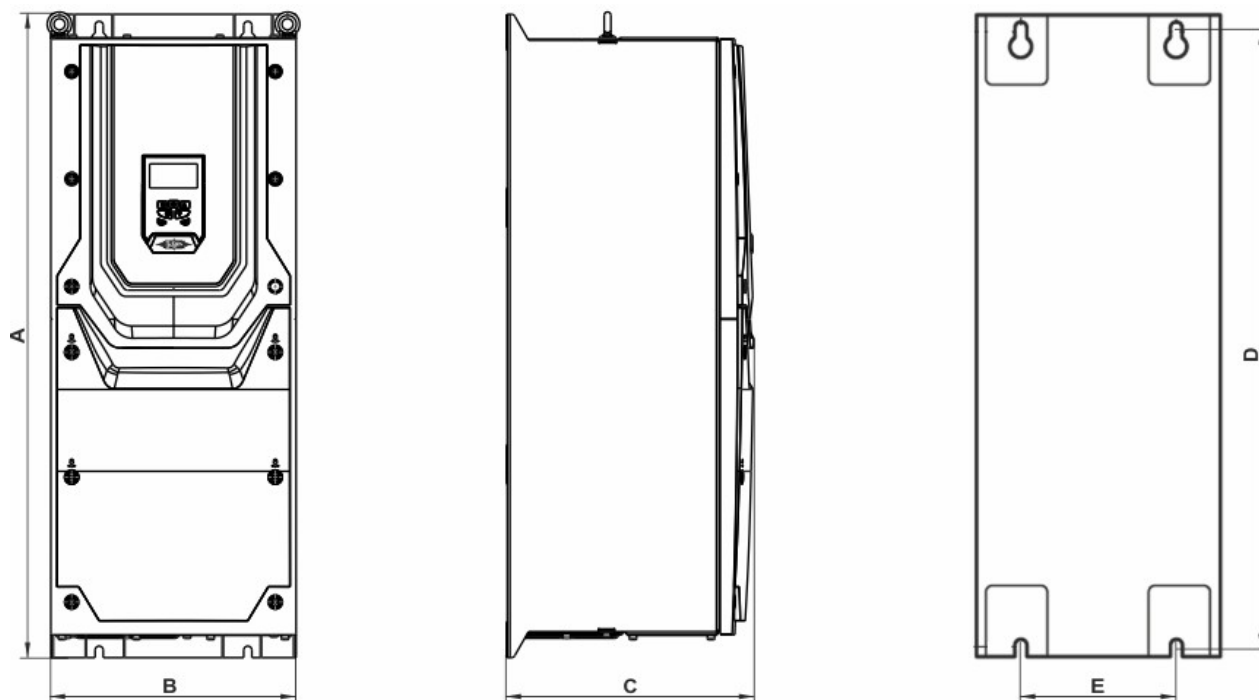


The restriction of the application limit is caused by the compressor. Right or above the frequency lines the operating current would be greater than the maximum allowed value. Select a larger motor version or a special voltage motor, if you need a wider range of the application limit.



Technical Data: FRW+302-4

Dimensions and Connections



	A	B	C	D	E
	mm	mm	mm	mm	mm
FPW+61-4, FPW+72-4, FPW+90-4	540	235	270	515	175
FQW+110-4, FQW+150-4, FQW+180-4	865	330	330	830	200
FRW+202-4, FRW+240-4, FRW+302-4	1280	330	360	1245	200





Selection: Horizontal receivers

Input Values

Common	Yes
Auto	
Operating point	Auto

Operating Points

	A
to [°C]	-25
tc [°C]	40,3

Result

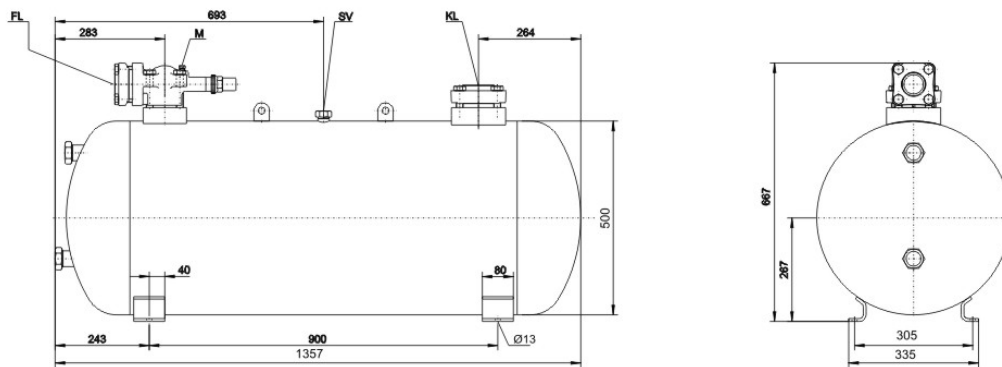
Compressor:	4FE-28Y
Recommendation:	F2202N
Selection	F2202N
Recommended operating point:	A
Selected operating point:	A
Receiver volume	228 dm ³
max refrigerant charge	219 kg
receiver load	73,1 %
Receiver unit	--
lower fixing rails	--
upper fixing rails	--
upper fixing plate	--

#1: Receiver selection for compact systems without condensing pressure control. Precise calculation only via refrigerant charge (see notes).



Technical Data: F2202N

Dimensions and Connections



Technical Data

Technical Data

Weight	175,0 kg
Total width	1357 mm
Total depth	500 mm
Total height	667mm
Receiver volume refrigerant	228,0 l
Max. refrigerant charge 90% at 20°C / 68°F	
R22	248,3 kg
R134a	251,6 kg
R407C	237,8 kg
R404A/R507A	219,2 kg
R448A	228,4 kg
R449A	229,2 kg
R450A	244,7 kg
R454C	205,9 kg
R455A	213,6 kg
R513A	251,3 kg
R1234yf	227,8 kg
R1234ze	241,7 kg
R515B	245,5 kg
Max. pressure	33 bar
Max. Operating Temperature	120°C
Connection inlet KL	76mm - 3 1/8"
Connection thread/ -flange	140x 140
Connection outlet FL	54mm - 2 1/8"
Connection thread/ -flange	112x 112
Gauge	7/4" 18 NPTF
Connection for pressure relief valve	1 1/4"-12UNF
Adapter for pressure relief valve	Option
Minimum level control	Option
Maximum level control	Option
Electric liquid level control	Option
*According PED 2014/68/EU	Standard
Special Approvals (on request)	Option



Selection of the receivers:

1) "Approx. according to cooling capacity":

The receiver volume is determined by the design of the unit, the operating mode and the function of the receiver (receiving the complete refrigerant charge in the receiver or only compensating capacity variations). When selected via cooling capacity, an approximate selection of the receiver is obtained. Receivers in systems with long pipelines, winter control or in very compact systems should be selected according to method 2).

2) "According to refrigerant charge in the receiver":

The calculation is made on the basis of the specified refrigerant charge. The receiver volume is determined at 20°C and at a maximum filling charge of 95% of the possible receiver content.

Compressor units equipped with receiver

The BITZER range of products comprises compressor units with horizontal receivers. In the output window of the accessories these units, which are included in the standard delivery, are marked with "mounted" in the compressor unit line. Units that can be mounted, but are not included in the Bitzer delivery program, are marked with "single parts". Units in which the compressor does not fit onto the receiver are marked with "--".

Coolselector2

Project information

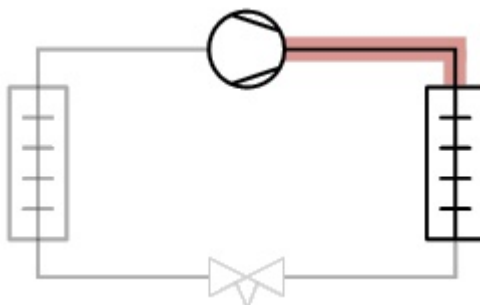
Project name: Circuito das câmaras de frescos
 Comments:
 Created by:
 Coolselector2 version: 4.5.2. Database: 75
 Printed: 23 de June de 2021
 Preferences used: All applications

Descarga

Operating conditions

Refrigerant:	R404A	Cooling capacity:	77800 W
Mass flow in line:	0,7616 kg/s	Heating capacity:	107100 W
Evaporating dew point temperature:	-4,8 °C	Condensing middle point temperature	45,3 °C
Evaporating pressure:	517400 Pa	Condensing pressure:	2069000 Pa
Evaporating mean temperature:	-5,0 °C	Subcooling:	3,0 K
Useful superheat:	3,0 K	Additional subcooling:	0 K
Additional superheat:	14,0 K		
Discharge temperature:	61,7 °C		

System and line: Dry - Discharge line



Line total

Pressure drop	28260 Pa
Saturation temperature drop	0,6 K

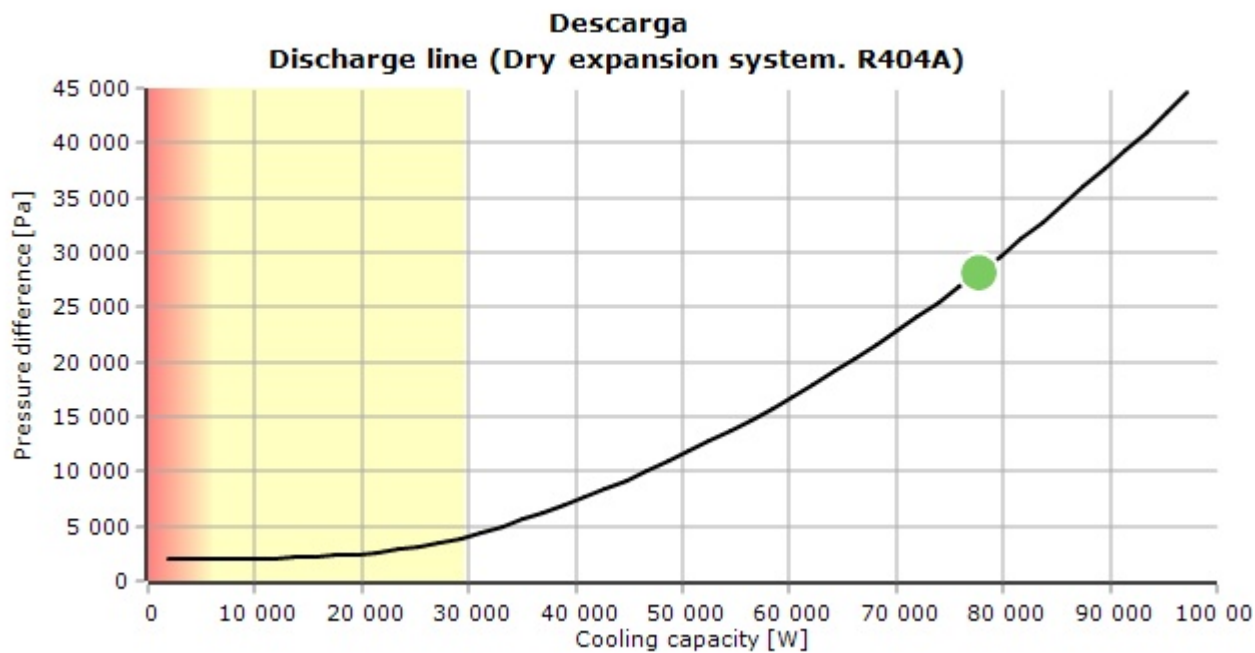
Position 1. Check valve: NRV 28



Pressure drop	28260 Pa
Saturation temperature drop	0,6 K
Velocity, in	15,57 m/s
Valve state	Open
Connection	OK

Coolselector2

Performance curve



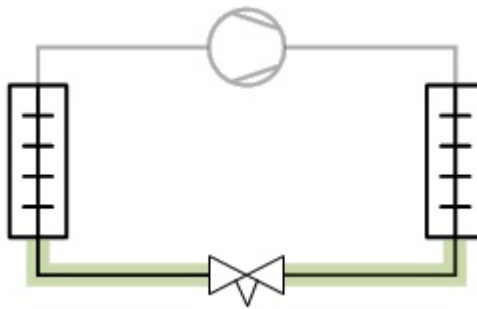
Coolselector2

Líquido 1

Operating conditions

Refrigerant:	R404A	Cooling capacity:	77800 W
Mass flow in line:	0,7616 kg/s	Heating capacity:	107100 W
Evaporating dew point temperature:	-4,8 °C	Condensing middle point temperature	45,3 °C
Evaporating pressure:	517400 Pa	Condensing pressure:	2069000 Pa
Evaporating mean temperature:	-5,0 °C	Subcooling:	3,0 K
Useful superheat:	3,0 K	Additional subcooling:	0 K
Additional superheat:	14,0 K		
Discharge temperature:	61,7 °C		

System and line: Dry - Liquid line



Line total

Pressure drop	11960 Pa
Saturation temperature drop	0,2 K

Position 1. Filter drier: DCR 0969-DM NS 29



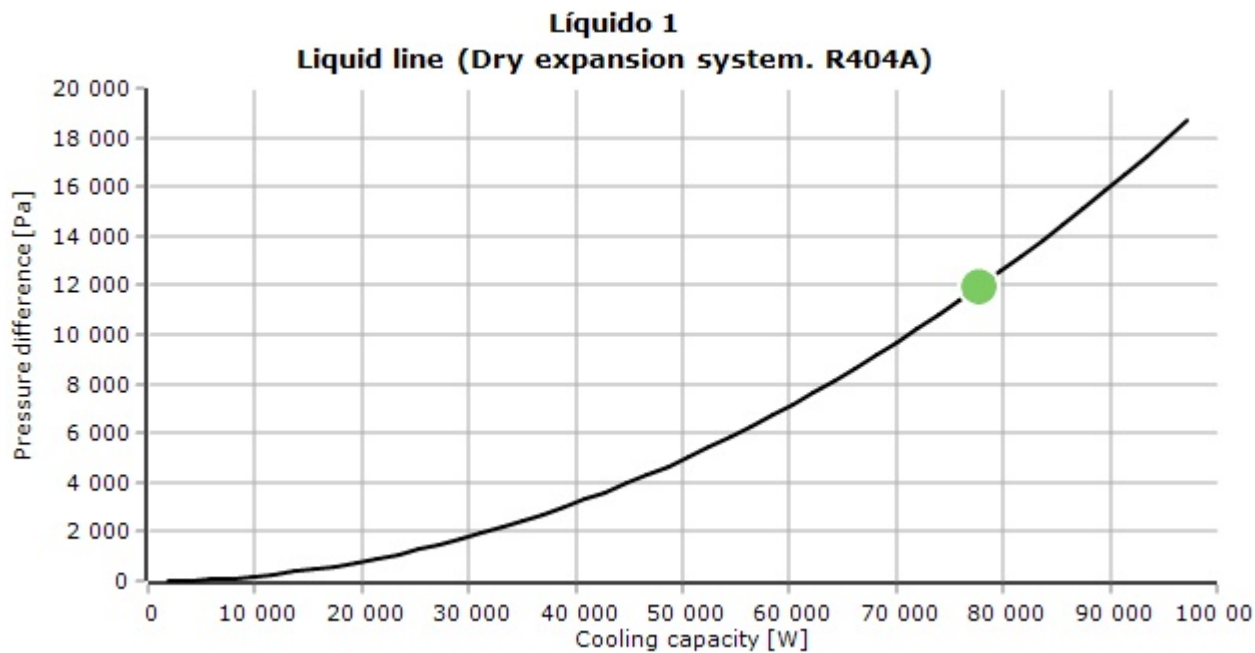
Pressure drop	2211 Pa
Saturation temperature drop	0,0 K
Velocity, in	1,25 m/s
Valve state	Open
Connection	OK

Position 2. Sight glass: SGP 22s NS 29



Pressure drop	9749 Pa
Saturation temperature drop	0,2 K
Velocity, in	2,57 m/s
Connection	OK

Performance curve



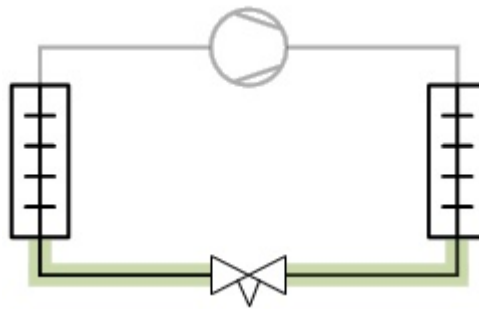
Coolselector2

Líquido 2

Operating conditions

Refrigerant:	R404A	Cooling capacity:	11100 W
Mass flow in line:	0,1087 kg/s	Heating capacity:	15280 W
Evaporating dew point temperature:	-4,8 °C	Condensing middle point temperature	45,3 °C
Evaporating pressure:	517400 Pa	Condensing pressure:	2069000 Pa
Evaporating mean temperature:	-5,0 °C	Subcooling:	3,0 K
Useful superheat:	3,0 K	Additional subcooling:	0 K
Additional superheat:	14,0 K		
Discharge temperature:	61,7 °C		

System and line: Dry - Liquid line



Line total

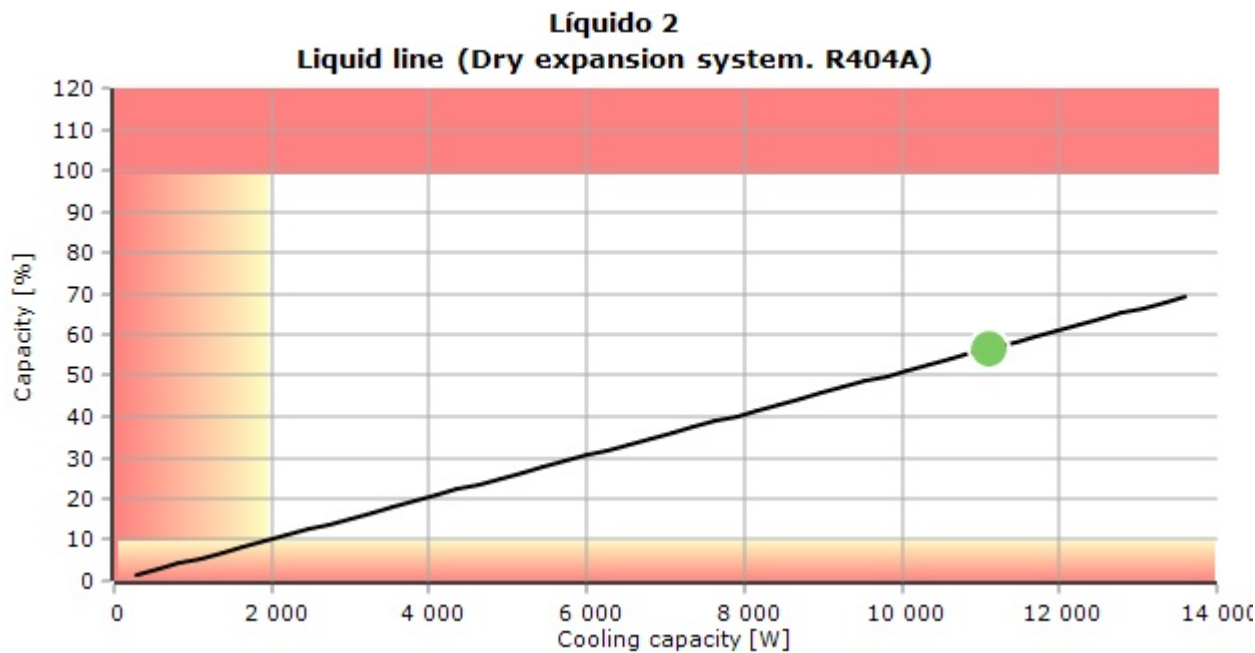
Pressure drop	1552000 Pa
Saturation temperature drop	50,5 K

Position 1. Electronic expansion valve: AKV 15-1



Max. capacity	19610 W
Min. capacity	1961 W
Load	57 %
Pressure drop	1552000 Pa
Saturation temperature drop	50,5 K
Velocity, in	0,65 m/s
Valve state	Open
Connection	OK

Performance curve



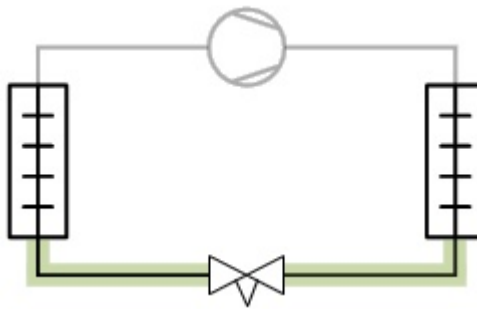
Coolselector2

Líquido 3

Operating conditions

Refrigerant:	R404A	Cooling capacity:	17800 W
Mass flow in line:	0,1743 kg/s	Heating capacity:	24510 W
Evaporating dew point temperature:	-4,8 °C	Condensing middle point temperature	45,3 °C
Evaporating pressure:	517400 Pa	Condensing pressure:	2069000 Pa
Evaporating mean temperature:	-5,0 °C	Subcooling:	3,0 K
Useful superheat:	3,0 K	Additional subcooling:	0 K
Additional superheat:	14,0 K		
Discharge temperature:	61,7 °C		

System and line: Dry - Liquid line



Line total

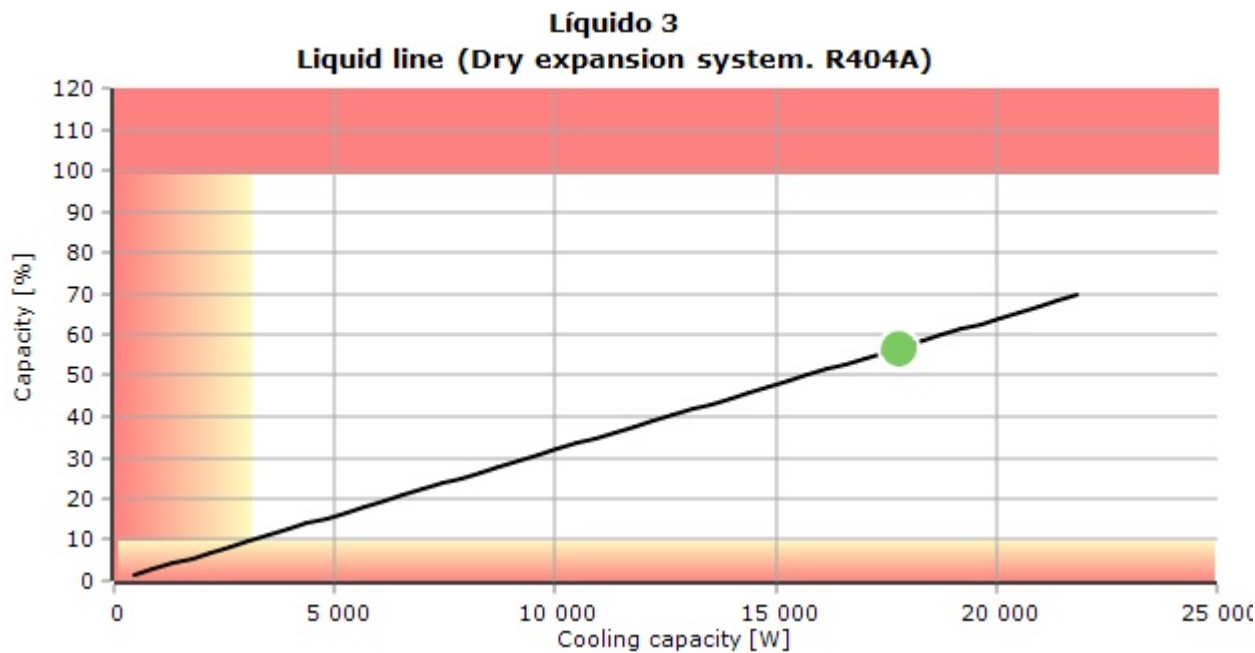
Pressure drop	1552000 Pa
Saturation temperature drop	50,5 K

Position 1. Electronic expansion valve: AKV 15-2 NS 19



Max. capacity	31340 W
Min. capacity	3134 W
Load	57 %
Pressure drop	1552000 Pa
Saturation temperature drop	50,5 K
Velocity, in	1,03 m/s
Valve state	Open
Connection	OK

Performance curve



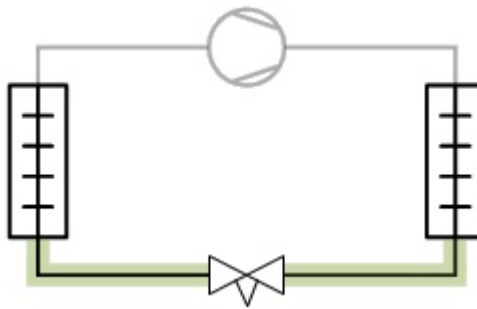
Coolselector2

Líquido 4

Operating conditions

Refrigerant:	R404A	Cooling capacity:	10000 W
Mass flow in line:	0,09789 kg/s	Heating capacity:	13770 W
Evaporating dew point temperature:	-4,8 °C	Condensing middle point temperature	45,3 °C
Evaporating pressure:	517400 Pa	Condensing pressure:	2069000 Pa
Evaporating mean temperature:	-5,0 °C	Subcooling:	3,0 K
Useful superheat:	3,0 K	Additional subcooling:	0 K
Additional superheat:	14,0 K		
Discharge temperature:	61,7 °C		

System and line: Dry - Liquid line



Line total

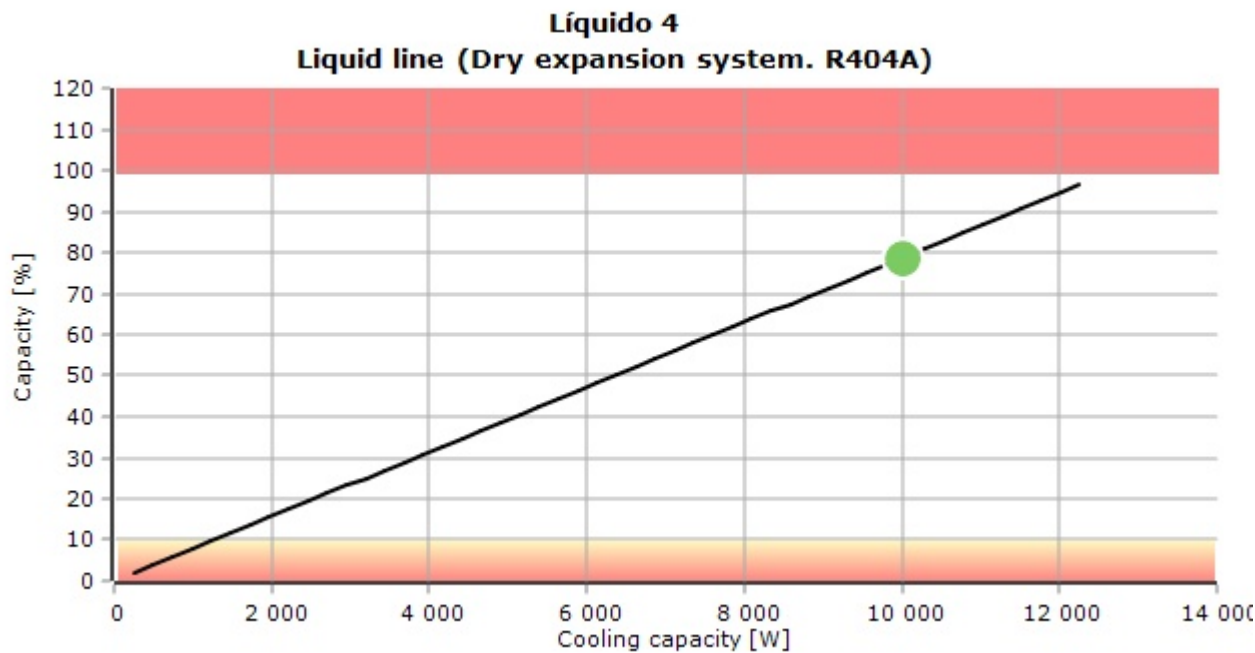
Pressure drop	1552000 Pa
Saturation temperature drop	50,5 K

Position 1. Electronic expansion valve: AKV 10-7 NS 13



Max. capacity	12700 W
Min. capacity	1270 W
Load	79 %
Pressure drop	1552000 Pa
Saturation temperature drop	50,5 K
Velocity, in	1,61 m/s
Valve state	Open
Connection	OK

Performance curve



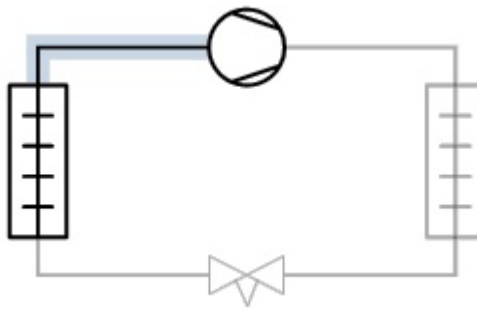
Coolselector2

Aspiração 1

Operating conditions

Refrigerant:	R404A	Cooling capacity:	11100 W
Mass flow in line:	0,1087 kg/s	Heating capacity:	15280 W
Evaporating dew point temperature:	-4,8 °C	Condensing middle point temperature	45,3 °C
Evaporating pressure:	517400 Pa	Condensing pressure:	2069000 Pa
Evaporating mean temperature:	-5,0 °C	Subcooling:	3,0 K
Useful superheat:	3,0 K	Additional subcooling:	0 K
Additional superheat:	14,0 K		
Discharge temperature:	61,7 °C		

System and line: Dry - Suction line



Line total

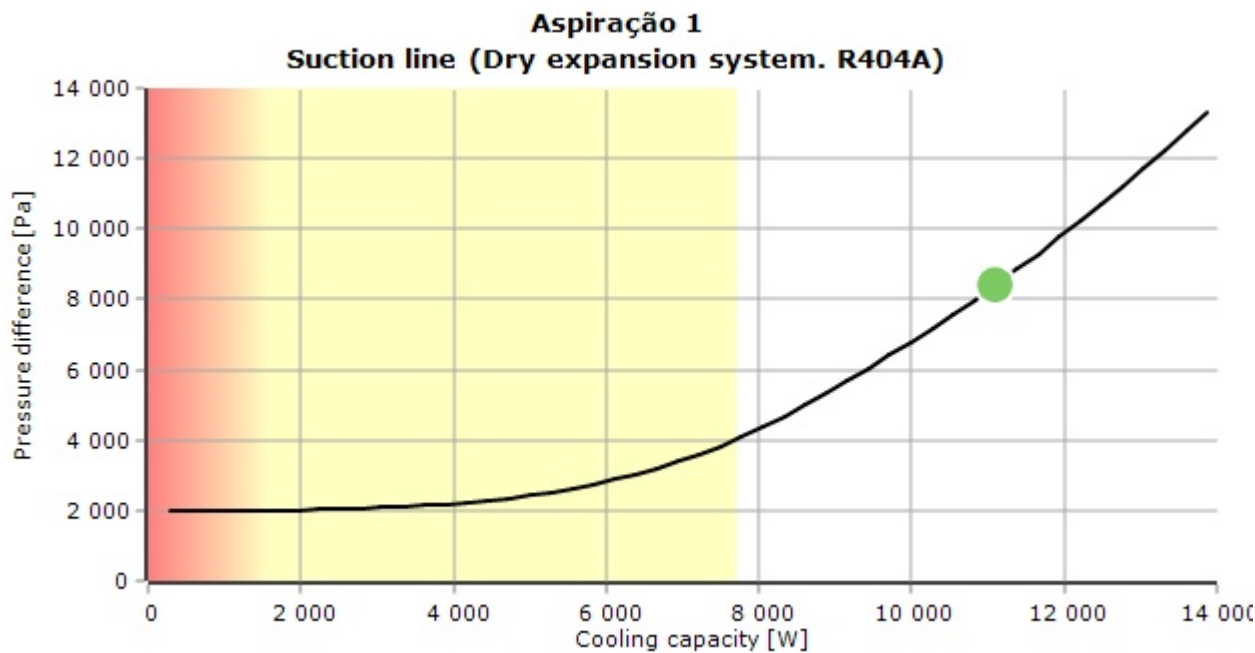
Pressure drop	8418 Pa
Saturation temperature drop	0,5 K

Position 1. Check valve: NRV 22 NS 29



Pressure drop	8418 Pa
Saturation temperature drop	0,5 K
Velocity, in	14,88 m/s
Valve state	Open
Connection	OK

Performance curve



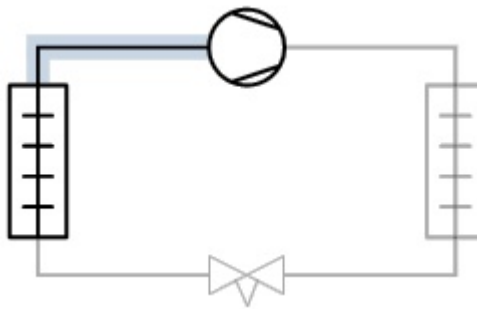
Coolselector2

Aspiração 2

Operating conditions

Refrigerant:	R404A	Cooling capacity:	17800 W
Mass flow in line:	0,1743 kg/s	Heating capacity:	24510 W
Evaporating dew point temperature:	-4,8 °C	Condensing middle point temperature	45,3 °C
Evaporating pressure:	517400 Pa	Condensing pressure:	2069000 Pa
Evaporating mean temperature:	-5,0 °C	Subcooling:	3,0 K
Useful superheat:	3,0 K	Additional subcooling:	0 K
Additional superheat:	14,0 K		
Discharge temperature:	61,7 °C		

System and line: Dry - Suction line



Line total

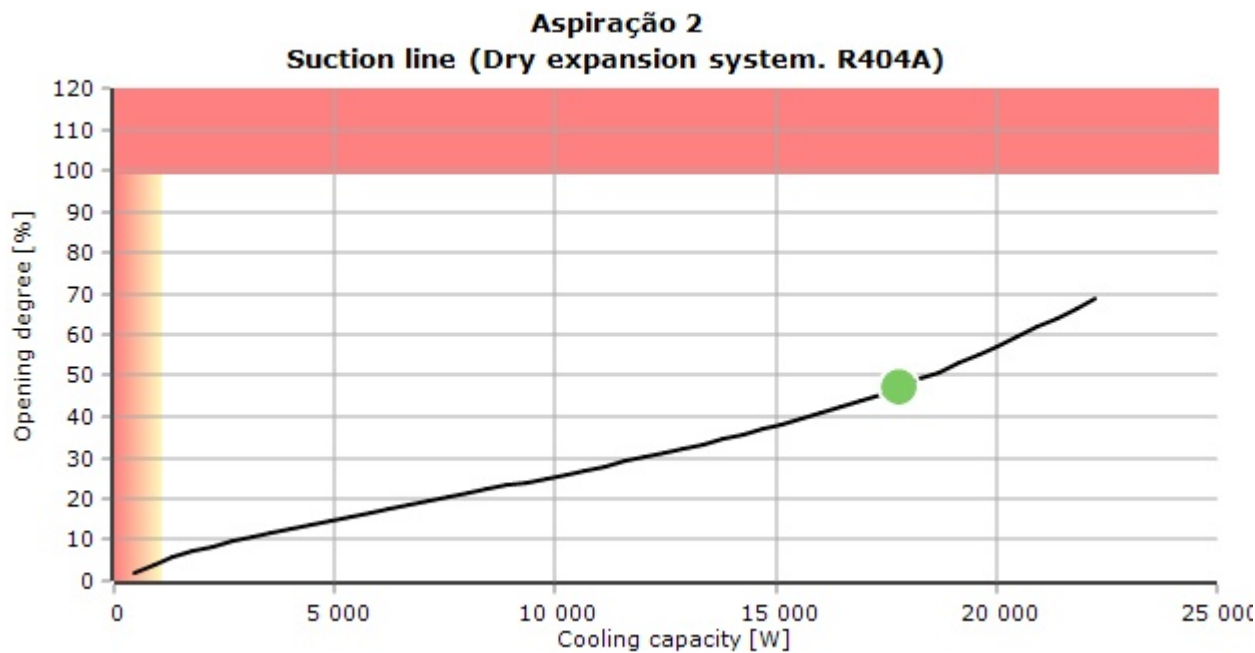
Pressure drop	16860 Pa
Saturation temperature drop	1,0 K

Position 1. Control valve: KVS 42 NS 29



Opening degree	47 %
Pressure drop	16860 Pa
Saturation temperature drop	1,0 K
Velocity, in	6,09 m/s
Valve state	Open
Connection	OK

Performance curve



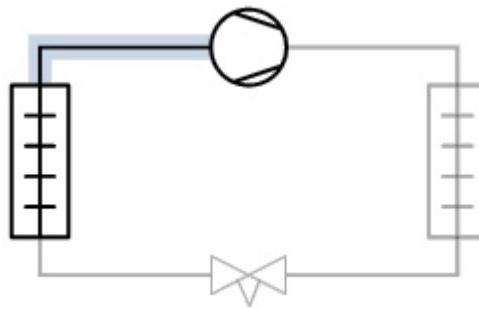
Coolselector2

Aspiração 3

Operating conditions

Refrigerant:	R404A	Cooling capacity:	10000 W
Mass flow in line:	0,09789 kg/s	Heating capacity:	13770 W
Evaporating dew point temperature:	-4,8 °C	Condensing middle point temperature	45,3 °C
Evaporating pressure:	517400 Pa	Condensing pressure:	2069000 Pa
Evaporating mean temperature:	-5,0 °C	Subcooling:	3,0 K
Useful superheat:	3,0 K	Additional subcooling:	0 K
Additional superheat:	14,0 K		
Discharge temperature:	61,7 °C		

System and line: Dry - Suction line



Line total

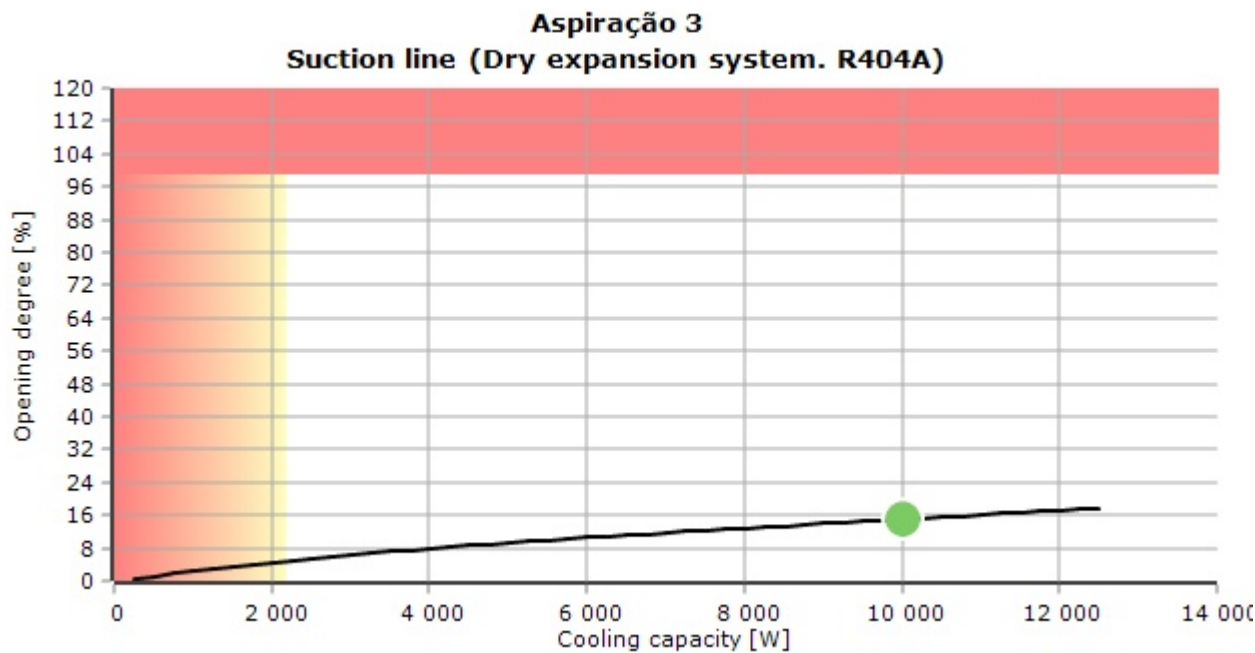
Pressure drop	80190 Pa
Saturation temperature drop	5,0 K

Position 1. Control valve: KVS 42 NS 22



Opening degree	15 %
Pressure drop	80190 Pa
Saturation temperature drop	5,0 K
Velocity, in	3,42 m/s
Valve state	Open
Connection	OK

Performance curve



Coolselector2

Project information

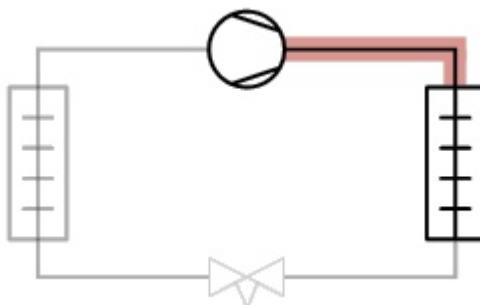
Project name: Circuito das câmaras de congelados
 Comments:
 Created by:
 Coolselector2 version: 4.5.2. Database: 75
 Printed: 23 de June de 2021
 Preferences used: All applications

Descarga

Operating conditions

Refrigerant:	R404A	Cooling capacity:	60000 W
Mass flow in line:	0,6152 kg/s	Heating capacity:	94140 W
Evaporating dew point temperature:	-24,8 °C	Condensing middle point temperature	40,3 °C
Evaporating pressure:	252000 Pa	Condensing pressure:	1838000 Pa
Evaporating mean temperature:	-25,0 °C	Subcooling:	3,0 K
Useful superheat:	1,0 K	Additional subcooling:	0 K
Additional superheat:	16,0 K		
Discharge temperature:	61,7 °C		

System and line: Dry - Discharge line



Line total

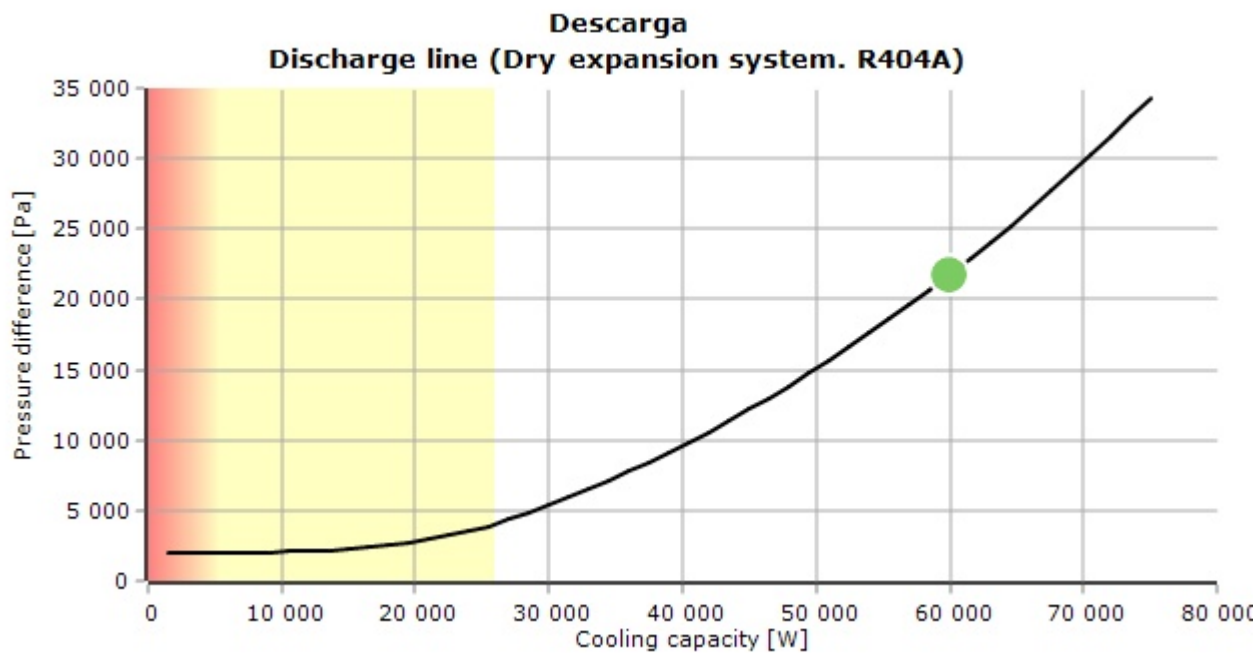
Pressure drop	21780 Pa
Saturation temperature drop	0,5 K

Position 1. Check valve: NRV 28



Pressure drop	21780 Pa
Saturation temperature drop	0,5 K
Velocity, in	14,89 m/s
Valve state	Open
Connection	OK

Performance curve



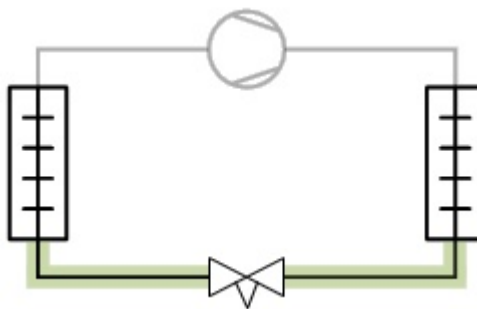
Coolselector2

Líquido 1

Operating conditions

Refrigerant:	R404A	Cooling capacity:	60000 W
Mass flow in line:	0,6152 kg/s	Heating capacity:	94140 W
Evaporating dew point temperature:	-24,8 °C	Condensing middle point temperature	40,3 °C
Evaporating pressure:	252000 Pa	Condensing pressure:	1838000 Pa
Evaporating mean temperature:	-25,0 °C	Subcooling:	3,0 K
Useful superheat:	1,0 K	Additional subcooling:	0 K
Additional superheat:	16,0 K		
Discharge temperature:	61,7 °C		

System and line: Dry - Liquid line



Line total

Pressure drop	7570 Pa
Saturation temperature drop	0,2 K

Position 1. Filter drier: DCR 0969-DM NS 29



Pressure drop	1399 Pa
Saturation temperature drop	0,0 K
Velocity, in	0,98 m/s
Valve state	Open
Connection	OK

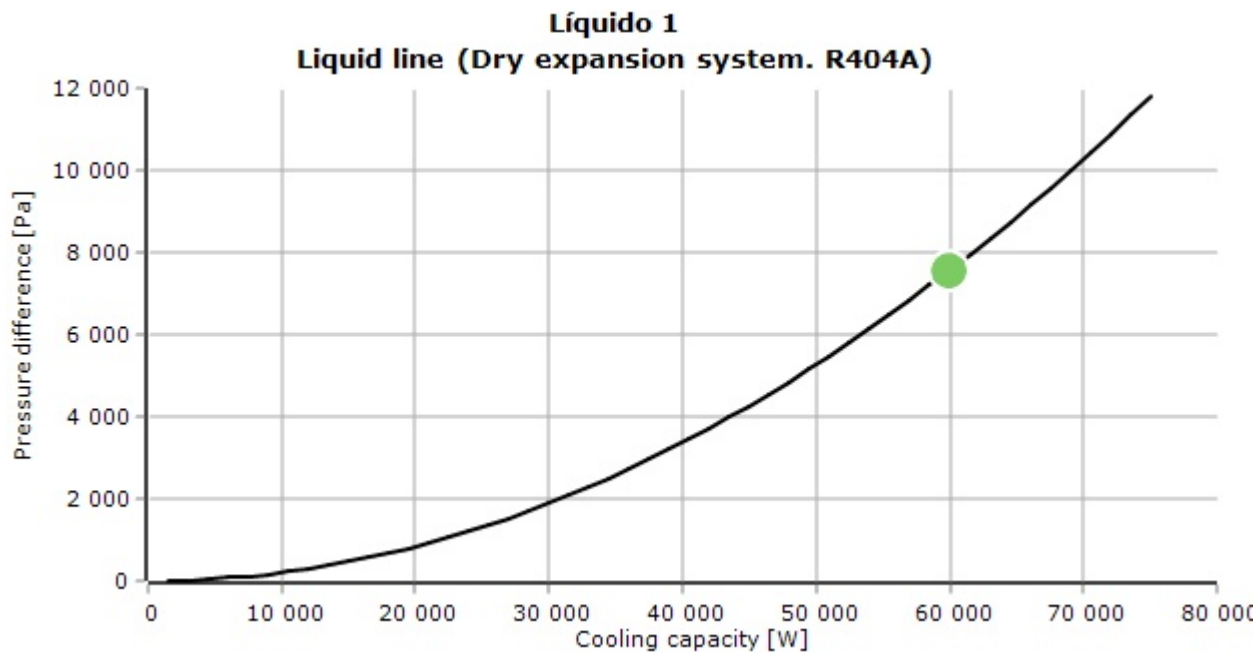
Position 2. Sight glass: SGP 22s NS 29



Pressure drop	6171 Pa
Saturation temperature drop	0,1 K
Velocity, in	2,01 m/s
Connection	OK

Coolselector2

Performance curve



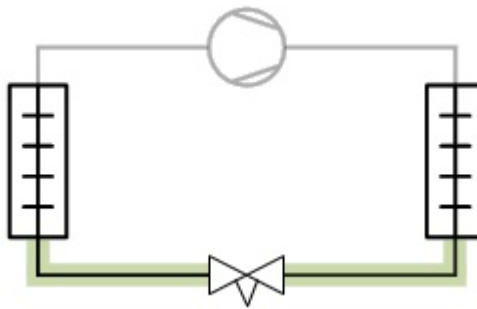
Coolselector2

Líquido 2

Operating conditions

Refrigerant:	R404A	Cooling capacity:	14200 W
Mass flow in line:	0,1456 kg/s	Heating capacity:	22280 W
Evaporating dew point temperature:	-24,8 °C	Condensing middle point temperature	40,3 °C
Evaporating pressure:	252000 Pa	Condensing pressure:	1838000 Pa
Evaporating mean temperature:	-25,0 °C	Subcooling:	3,0 K
Useful superheat:	1,0 K	Additional subcooling:	0 K
Additional superheat:	16,0 K		
Discharge temperature:	61,7 °C		

System and line: Dry - Liquid line



Line total

Pressure drop	1586000 Pa
Saturation temperature drop	65,6 K

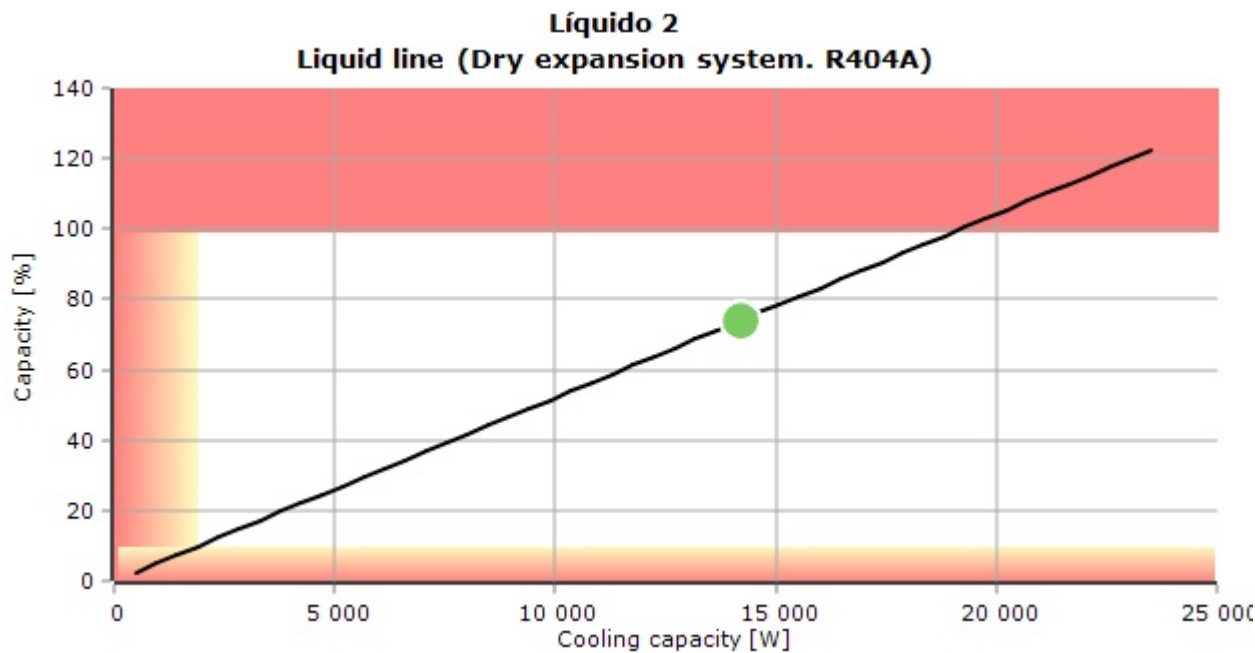
Position 1. Electronic expansion valve: AKV 15-1 NS 19



Max. capacity	19190 W
Min. capacity	1919 W
Load	74 %
Pressure drop	1586000 Pa
Saturation temperature drop	65,6 K
Velocity, in	0,84 m/s
Valve state	Open
Connection	OK

Coolselector2

Performance curve



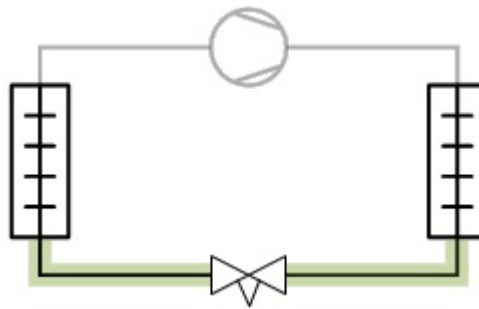
Coolselector2

Líquido 3

Operating conditions

Refrigerant:	R404A	Cooling capacity:	15900 W
Mass flow in line:	0,163 kg/s	Heating capacity:	24950 W
Evaporating dew point temperature:	-24,8 °C	Condensing middle point temperature	40,3 °C
Evaporating pressure:	252000 Pa	Condensing pressure:	1838000 Pa
Evaporating mean temperature:	-25,0 °C	Subcooling:	3,0 K
Useful superheat:	1,0 K	Additional subcooling:	0 K
Additional superheat:	16,0 K		
Discharge temperature:	61,7 °C		

System and line: Dry - Liquid line



Line total

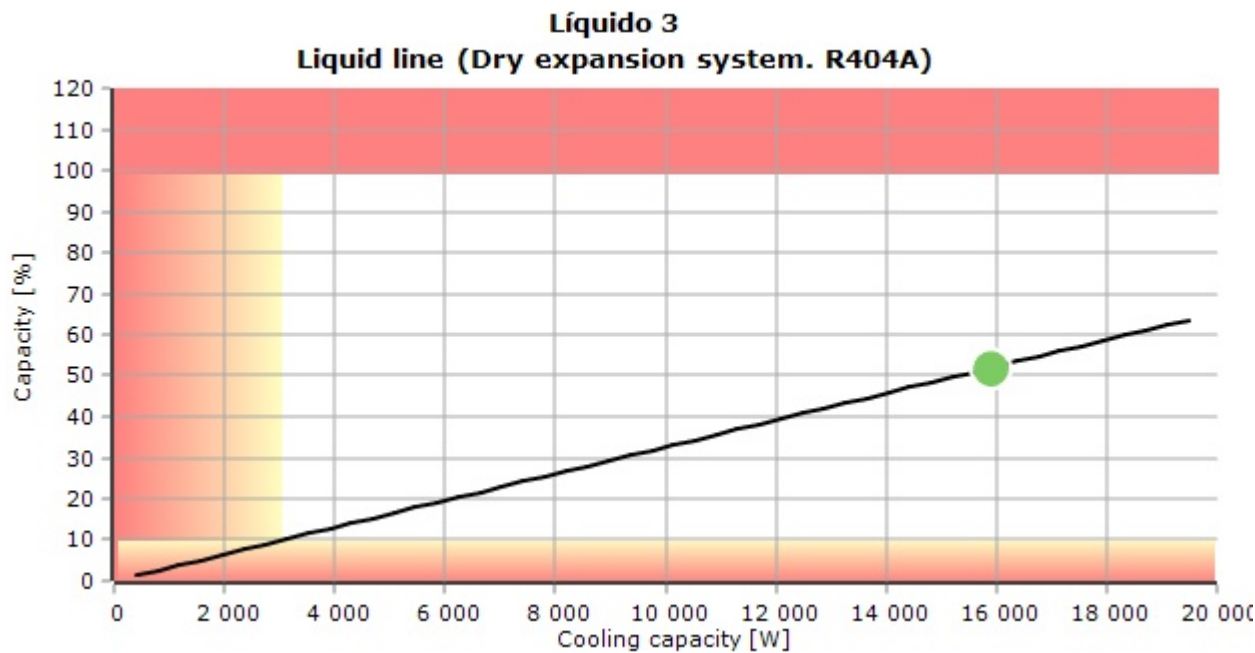
Pressure drop	1586000 Pa
Saturation temperature drop	65,6 K

Position 1. Electronic expansion valve: AKV 15-2



Max. capacity	30610 W
Min. capacity	3061 W
Load	52 %
Pressure drop	1586000 Pa
Saturation temperature drop	65,6 K
Velocity, in	0,94 m/s
Valve state	Open
Connection	OK

Performance curve



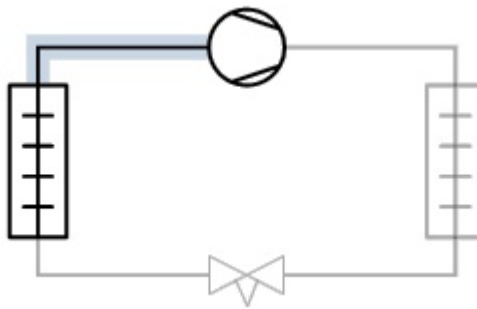
Coolselector2

Aspiração 1

Operating conditions

Refrigerant:	R404A	Cooling capacity:	14200 W
Mass flow in line:	0,1456 kg/s	Heating capacity:	22280 W
Evaporating dew point temperature:	-24,8 °C	Condensing middle point temperature	40,3 °C
Evaporating pressure:	252000 Pa	Condensing pressure:	1838000 Pa
Evaporating mean temperature:	-25,0 °C	Subcooling:	3,0 K
Useful superheat:	1,0 K	Additional subcooling:	0 K
Additional superheat:	16,0 K		
Discharge temperature:	61,7 °C		

System and line: Dry - Suction line



Line total

Pressure drop	8153 Pa
Saturation temperature drop	0,8 K

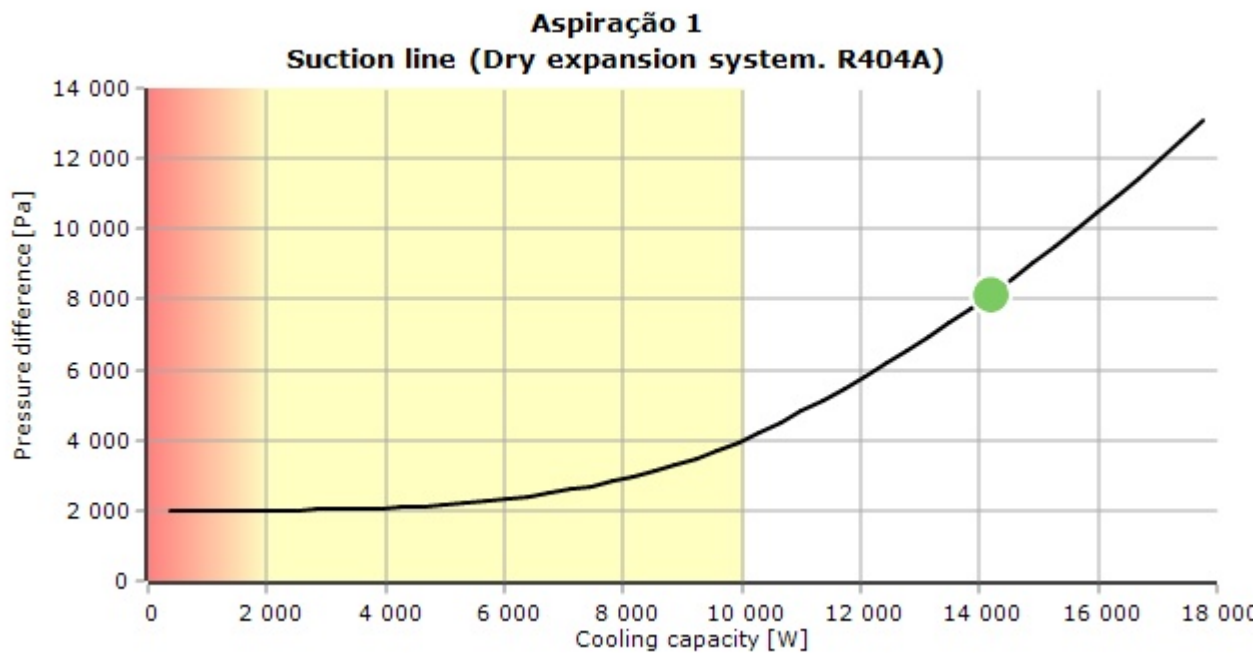
Position 1. Check valve: NRV 28 NS 35



Pressure drop	8153 Pa
Saturation temperature drop	0,8 K
Velocity, in	22,91 m/s
Valve state	Open
Connection	OK

Coolselector2

Performance curve



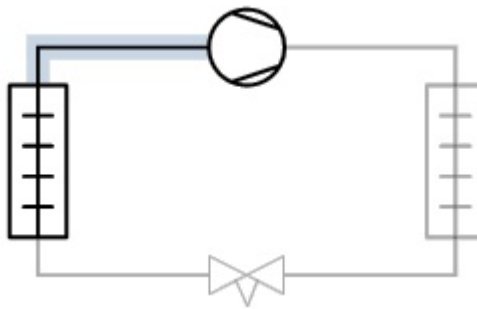
Coolselector2

Aspiração 2

Operating conditions

Refrigerant:	R404A	Cooling capacity:	15900 W
Mass flow in line:	0,163 kg/s	Heating capacity:	24950 W
Evaporating dew point temperature:	-24,8 °C	Condensing middle point temperature	40,3 °C
Evaporating pressure:	252000 Pa	Condensing pressure:	1838000 Pa
Evaporating mean temperature:	-25,0 °C	Subcooling:	3,0 K
Useful superheat:	1,0 K	Additional subcooling:	0 K
Additional superheat:	16,0 K		
Discharge temperature:	61,7 °C		

System and line: Dry - Suction line



Line total

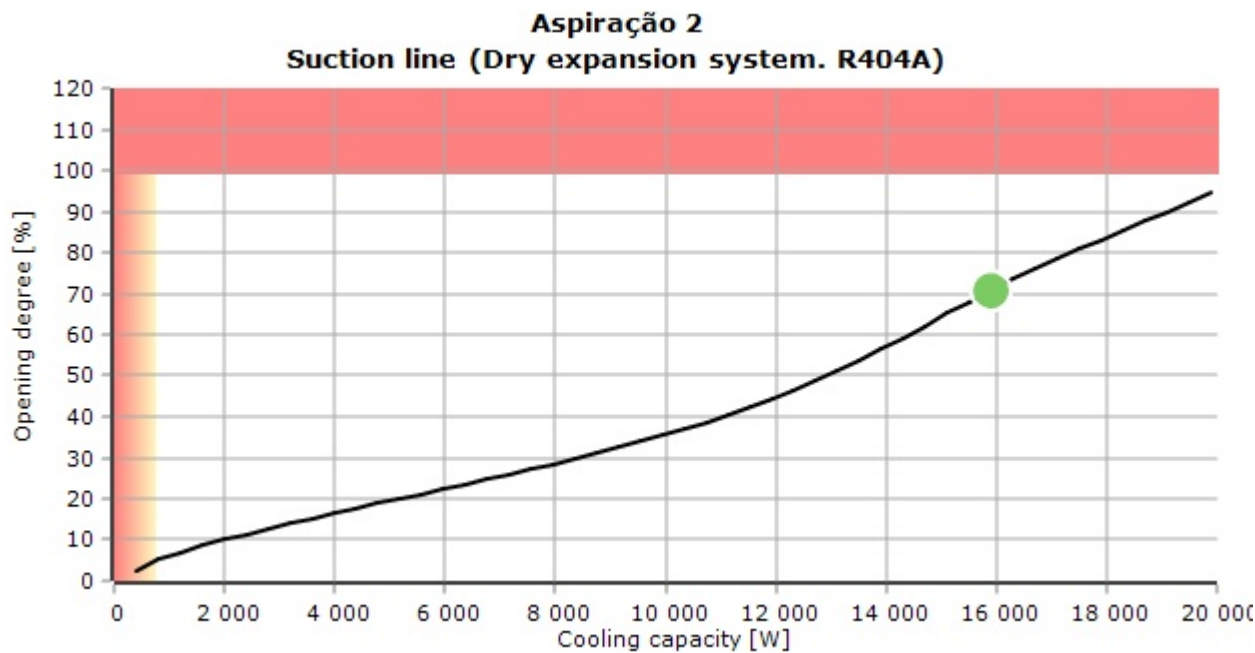
Pressure drop	19190 Pa
Saturation temperature drop	2,0 K

Position 1. Control valve: KVS 42 NS 41



Opening degree	71 %
Pressure drop	19190 Pa
Saturation temperature drop	2,0 K
Velocity, in	11,34 m/s
Valve state	Open
Connection	OK

Performance curve



Coolselector2

Project information

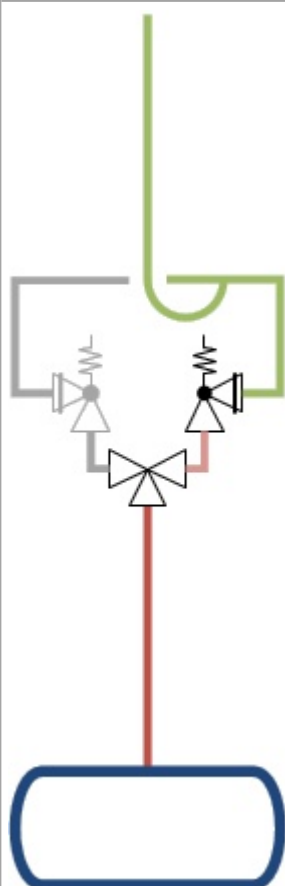
Project name: Válvulas de segurança
 Comments:
 Created by:
 Coolselector2 version: 4.5.2. Database: 75
 Printed: 23 de June de 2021
 Preferences used: All applications

Frescos

Operating conditions

Calculations according to: EN 13136:2013+A1:2018
 External relief (to ambient)
 Refrigerant: R404A
 Back pressure, absolute: 101300 Pa

Vessel 2



Safety relief valve and changeover valve: SFA 15-50 + DSV 1 (25-20)

Setpoint pressure, gauge: 2800000 Pa
 Inlet temperature: 64,7 °C
 Relieving pressure, absolute: 3181000 Pa
 Required capacity: 0,3235 kg/s
 Selected valve capacity: 0,8968 kg/s
 Adjusted valve capacity: 0,7174 kg/s
 Inlet pressure loss (0,3%): 9254 Pa
 Outlet pressure loss (1,6%): 50720 Pa
 Result: OK

Vessel

Type: Cylindrical
 Diameter: 0,37 m
 Length: 1,74 m
 Surface area: 2,238 m²

Outlet piping

Pipe length: 3,50 m
 Pipe Diameter: 0,0372 m
 Pipe friction coef.: 0,02
 Number of bends: 1
 Bend type: Bend r = 2·d

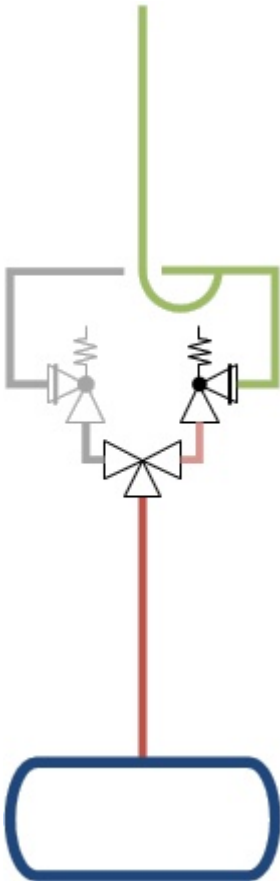
Coolselector2

Congelados

Operating conditions

Calculations according to: EN 13136:2013+A1:2018
 External relief (to ambient)
 Refrigerant: R404A
 Back pressure, absolute: 101300 Pa

Vessel 2



Safety relief valve and changeover valve: SFA 15-50 + DSV 1 (25-20)

Setpoint pressure, gauge: 2800000 Pa
 Inlet temperature: 64,7 °C
 Relieving pressure, absolute: 3181000 Pa
 Required capacity: 0,3656 kg/s
 Selected valve capacity: 0,8968 kg/s
 Adjusted valve capacity: 0,7174 kg/s
 Inlet pressure loss (0,3%): 9254 Pa
 Outlet pressure loss (1,6%): 50710 Pa
 Result: OK

Vessel

Type: Cylindrical
 Diameter: 0,50 m
 Length: 1,36 m
 Surface area: 2,529 m²

Outlet piping

Pipe length: 3,50 m
 Pipe Diameter: 0,0372 m
 Pipe friction coef.: 0,02
 Number of bends: 1
 Bend type: Bend r = 2·d

Coolselector2

Project information

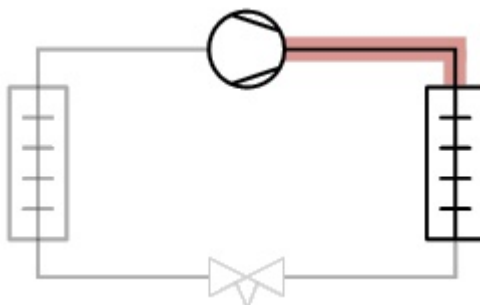
Project name: Retrofit do circuito das câmaras de frescos
 Comments:
 Created by:
 Coolselector2 version: 4.5.2. Database: 75
 Printed: 25 de June de 2021
 Preferences used: All applications

Descarga

Operating conditions

Refrigerant:	R449A	Cooling capacity:	77800 W
Mass flow in line:	0,5605 kg/s	Heating capacity:	105200 W
Evaporating dew point temperature:	-3,3 °C	Condensing middle point temperature	45,3 °C
Evaporating pressure:	459300 Pa	Condensing pressure:	2001000 Pa
Evaporating mean temperature:	-5,0 °C	Subcooling:	3,0 K
Useful superheat:	3,0 K	Additional subcooling:	0 K
Additional superheat:	14,0 K		
Discharge temperature:	74,0 °C		

System and line: Dry - Discharge line



Line total

Pressure drop	19930 Pa
Saturation temperature drop	0,4 K

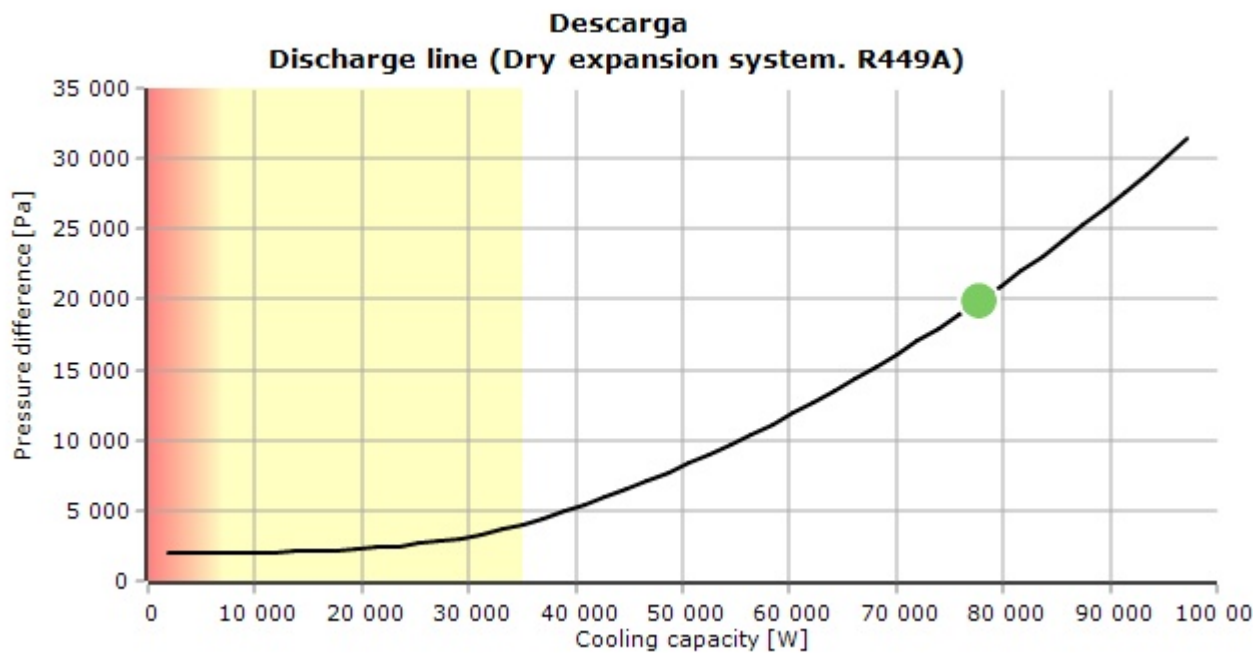
Position 1. Check valve: NRV 28



Pressure drop	19930 Pa
Saturation temperature drop	0,4 K
Velocity, in	14,99 m/s
Valve state	Open
Connection	OK

Coolselector2

Performance curve



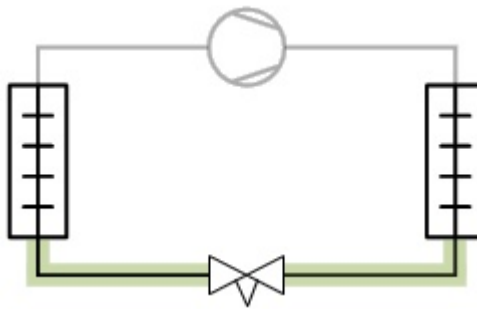
Coolselector2

Líquido 1

Operating conditions

Refrigerant:	R449A	Cooling capacity:	77800 W
Mass flow in line:	0,5605 kg/s	Heating capacity:	105200 W
Evaporating dew point temperature:	-3,3 °C	Condensing middle point temperature	45,3 °C
Evaporating pressure:	459300 Pa	Condensing pressure:	2001000 Pa
Evaporating mean temperature:	-5,0 °C	Subcooling:	3,0 K
Useful superheat:	3,0 K	Additional subcooling:	0 K
Additional superheat:	14,0 K		
Discharge temperature:	74,0 °C		

System and line: Dry - Liquid line



Line total

Pressure drop	6031 Pa
Saturation temperature drop	0,1 K

Position 1. Filter drier: DCR 0969-DM NS 29



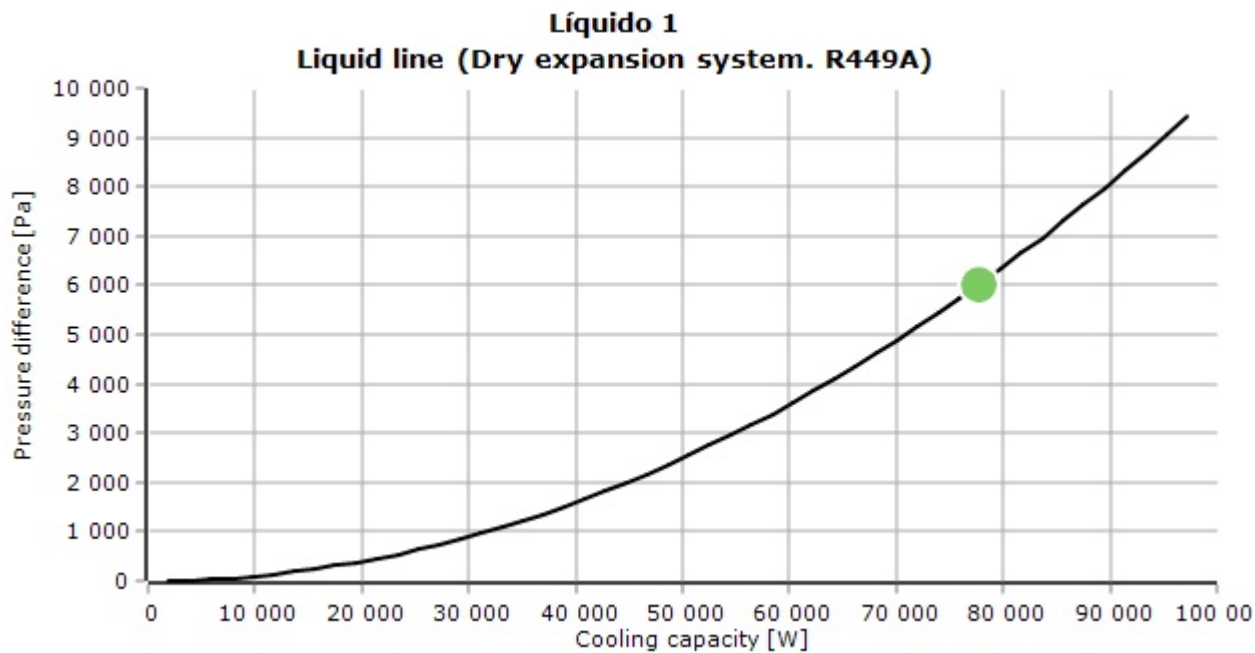
Pressure drop	1115 Pa
Saturation temperature drop	0,0 K
Velocity, in	0,86 m/s
Valve state	Open
Connection	OK

Position 2. Sight glass: SGP 22s NS 29



Pressure drop	4916 Pa
Saturation temperature drop	0,1 K
Velocity, in	1,76 m/s
Connection	OK

Performance curve



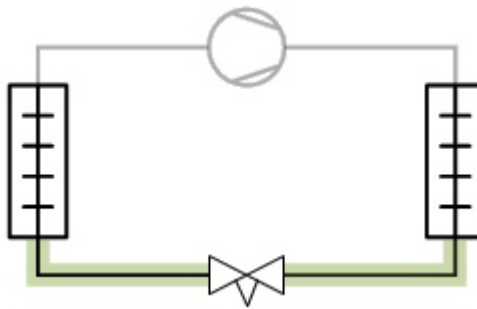
Coolselector2

Líquido 2

Operating conditions

Refrigerant:	R449A	Cooling capacity:	11100 W
Mass flow in line:	0,07997 kg/s	Heating capacity:	15020 W
Evaporating dew point temperature:	-3,3 °C	Condensing middle point temperature	45,3 °C
Evaporating pressure:	459300 Pa	Condensing pressure:	2001000 Pa
Evaporating mean temperature:	-5,0 °C	Subcooling:	3,0 K
Useful superheat:	3,0 K	Additional subcooling:	0 K
Additional superheat:	14,0 K		
Discharge temperature:	74,0 °C		

System and line: Dry - Liquid line



Line total

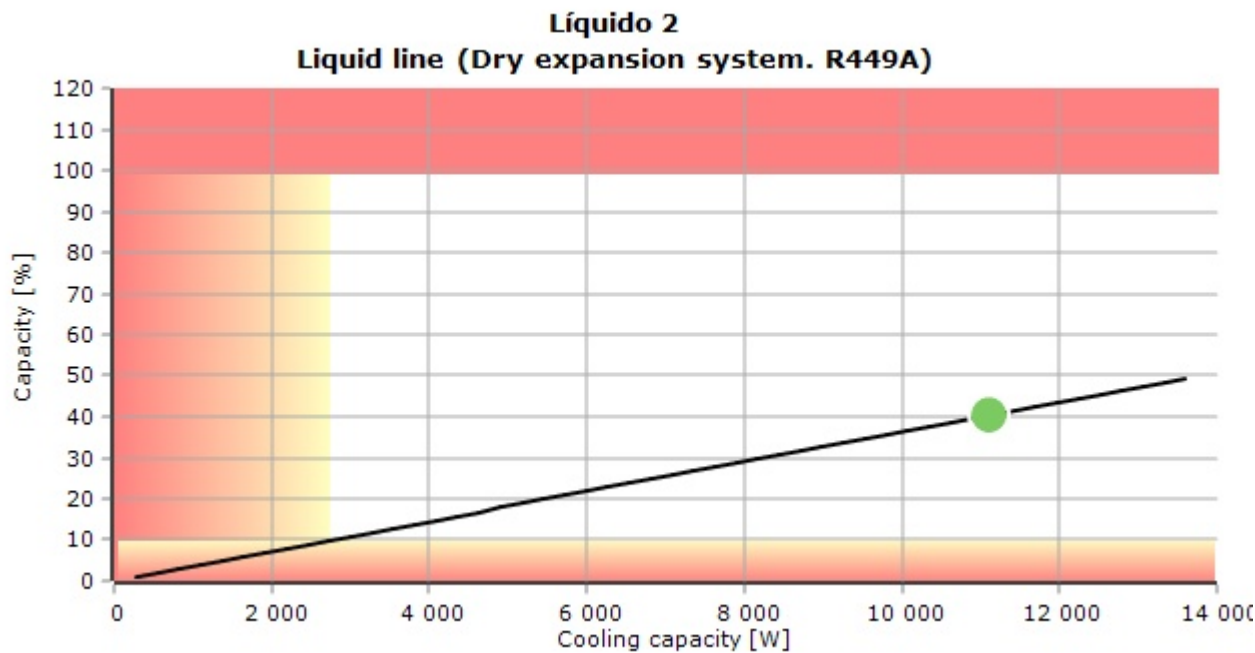
Pressure drop	1541000 Pa
Saturation temperature drop	51,9 K

Position 1. Electronic expansion valve: AKV 15-1



Max. capacity	27520 W
Min. capacity	2752 W
Load	40 %
Pressure drop	1541000 Pa
Saturation temperature drop	51,9 K
Velocity, in	0,44 m/s
Valve state	Open
Connection	OK

Performance curve



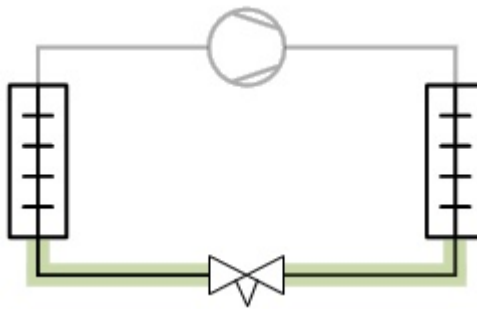
Coolselector2

Líquido 3

Operating conditions

Refrigerant:	R449A	Cooling capacity:	17800 W
Mass flow in line:	0,1282 kg/s	Heating capacity:	24080 W
Evaporating dew point temperature:	-3,3 °C	Condensing middle point temperature	45,3 °C
Evaporating pressure:	459300 Pa	Condensing pressure:	2001000 Pa
Evaporating mean temperature:	-5,0 °C	Subcooling:	3,0 K
Useful superheat:	3,0 K	Additional subcooling:	0 K
Additional superheat:	14,0 K		
Discharge temperature:	74,0 °C		

System and line: Dry - Liquid line



Line total

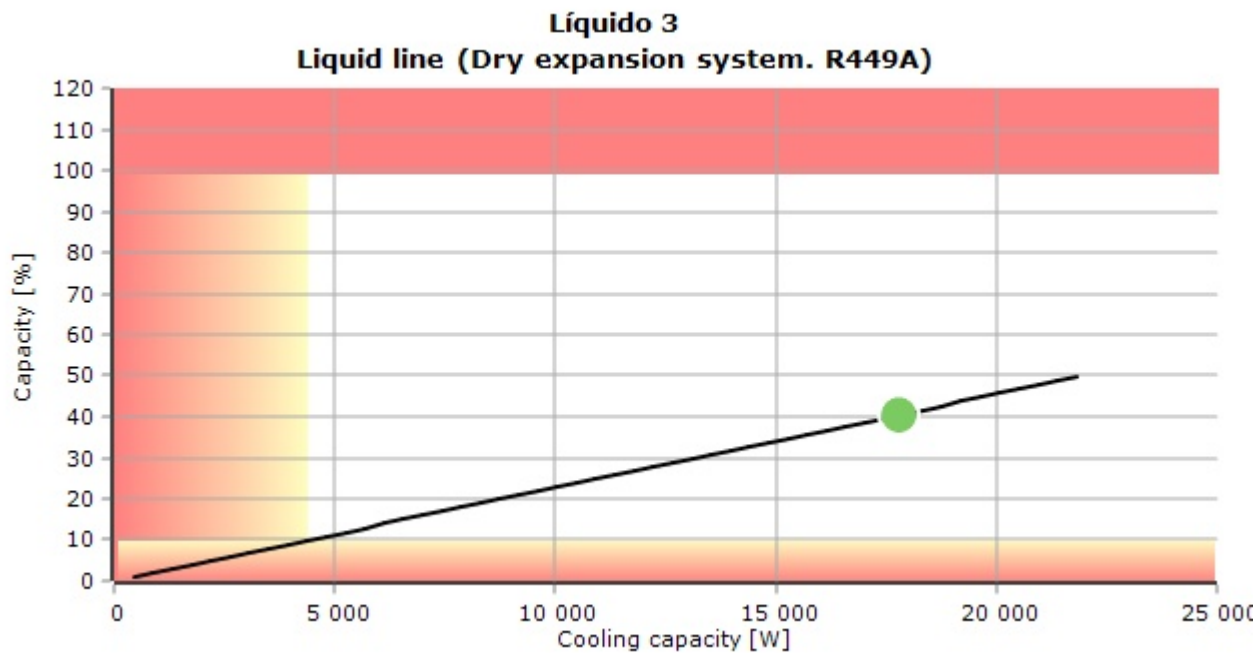
Pressure drop	1541000 Pa
Saturation temperature drop	51,9 K

Position 1. Electronic expansion valve: AKV 15-2 NS 19



Max. capacity	43960 W
Min. capacity	4396 W
Load	40 %
Pressure drop	1541000 Pa
Saturation temperature drop	51,9 K
Velocity, in	0,71 m/s
Valve state	Open
Connection	OK

Performance curve



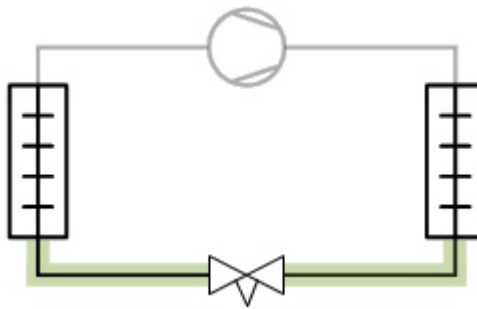
Coolselector2

Líquido 4

Operating conditions

Refrigerant:	R449A	Cooling capacity:	10000 W
Mass flow in line:	0,07205 kg/s	Heating capacity:	13530 W
Evaporating dew point temperature:	-3,3 °C	Condensing middle point temperature	45,3 °C
Evaporating pressure:	459300 Pa	Condensing pressure:	2001000 Pa
Evaporating mean temperature:	-5,0 °C	Subcooling:	3,0 K
Useful superheat:	3,0 K	Additional subcooling:	0 K
Additional superheat:	14,0 K		
Discharge temperature:	74,0 °C		

System and line: Dry - Liquid line



Line total

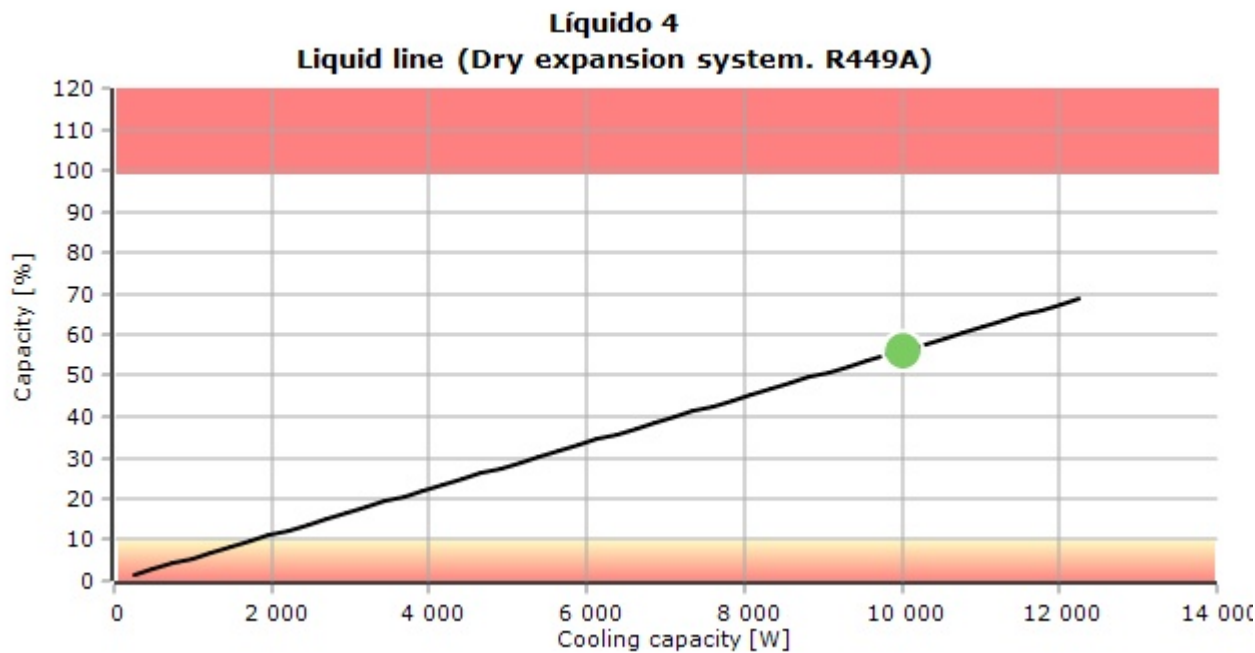
Pressure drop	1541000 Pa
Saturation temperature drop	51,9 K

Position 1. Electronic expansion valve: AKV 10-7 NS 13



Max. capacity	17820 W
Min. capacity	1782 W
Load	56 %
Pressure drop	1541000 Pa
Saturation temperature drop	51,9 K
Velocity, in	1,11 m/s
Valve state	Open
Connection	OK

Performance curve



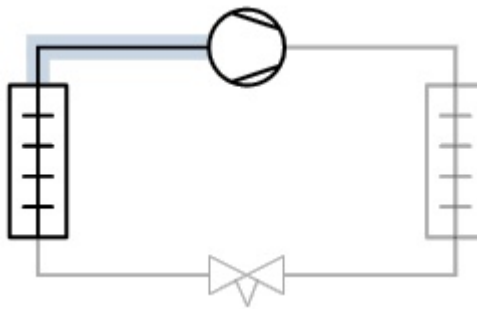
Coolselector2

Aspiração 1

Operating conditions

Refrigerant:	R449A	Cooling capacity:	11100 W
Mass flow in line:	0,07997 kg/s	Heating capacity:	15020 W
Evaporating dew point temperature:	-3,3 °C	Condensing middle point temperature	45,3 °C
Evaporating pressure:	459300 Pa	Condensing pressure:	2001000 Pa
Evaporating mean temperature:	-5,0 °C	Subcooling:	3,0 K
Useful superheat:	3,0 K	Additional subcooling:	0 K
Additional superheat:	14,0 K		
Discharge temperature:	74,0 °C		

System and line: Dry - Suction line



Line total

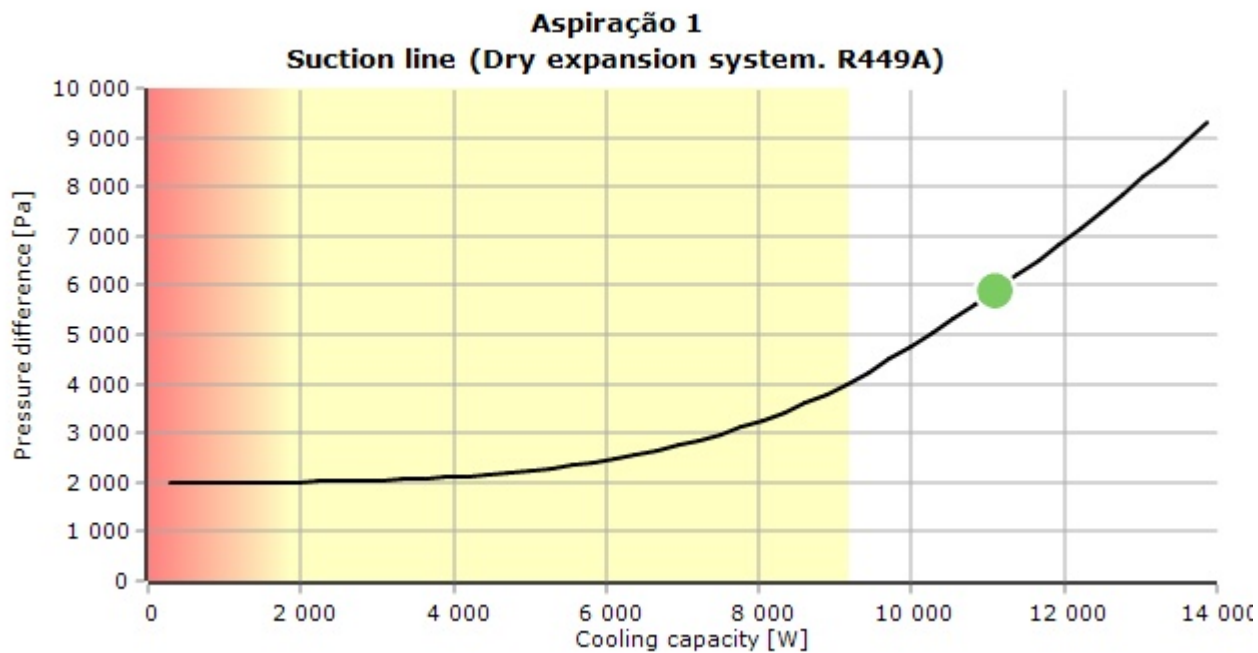
Pressure drop	5896 Pa
Saturation temperature drop	0,4 K

Position 1. Check valve: NRV 22 NS 29



Pressure drop	5896 Pa
Saturation temperature drop	0,4 K
Velocity, in	14,23 m/s
Valve state	Open
Connection	OK

Performance curve



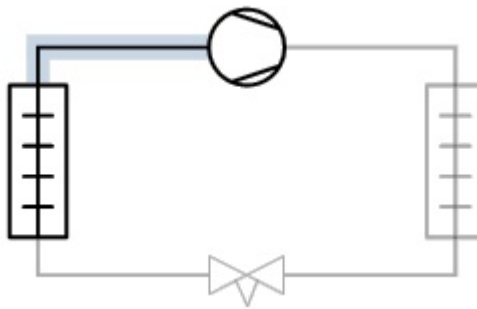
Coolselector2

Aspiração 2

Operating conditions

Refrigerant:	R449A	Cooling capacity:	17800 W
Mass flow in line:	0,1282 kg/s	Heating capacity:	24080 W
Evaporating dew point temperature:	-3,3 °C	Condensing middle point temperature	45,3 °C
Evaporating pressure:	459300 Pa	Condensing pressure:	2001000 Pa
Evaporating mean temperature:	-5,0 °C	Subcooling:	3,0 K
Useful superheat:	3,0 K	Additional subcooling:	0 K
Additional superheat:	14,0 K		
Discharge temperature:	74,0 °C		

System and line: Dry - Suction line



Line total

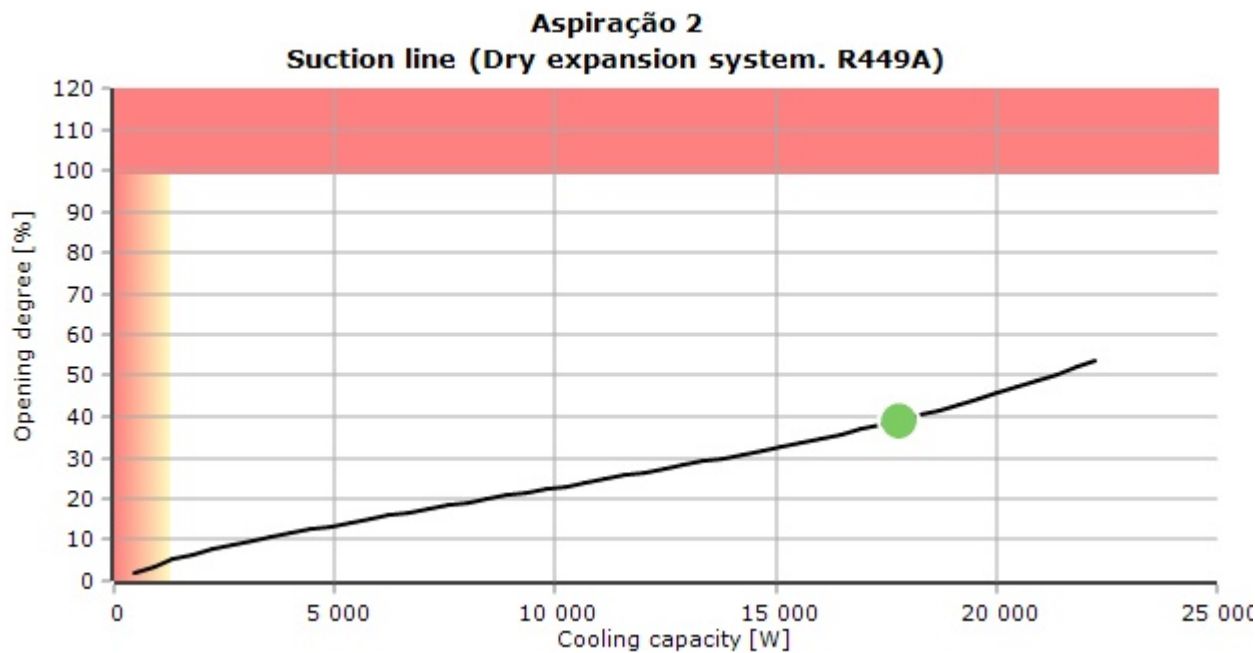
Pressure drop	15780 Pa
Saturation temperature drop	1,0 K

Position 1. Control valve: KVS 42 NS 29



Opening degree	39 %
Pressure drop	15780 Pa
Saturation temperature drop	1,0 K
Velocity, in	5,83 m/s
Valve state	Open
Connection	OK

Performance curve



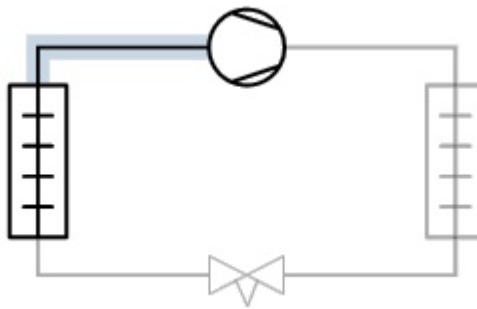
Coolselector2

Aspiração 3

Operating conditions

Refrigerant:	R449A	Cooling capacity:	10000 W
Mass flow in line:	0,07204 kg/s	Heating capacity:	13530 W
Evaporating dew point temperature:	-3,3 °C	Condensing middle point temperature	45,3 °C
Evaporating pressure:	459300 Pa	Condensing pressure:	2001000 Pa
Evaporating mean temperature:	-5,0 °C	Subcooling:	3,0 K
Useful superheat:	3,0 K	Additional subcooling:	0 K
Additional superheat:	14,0 K		
Discharge temperature:	74,0 °C		

System and line: Dry - Suction line



Line total

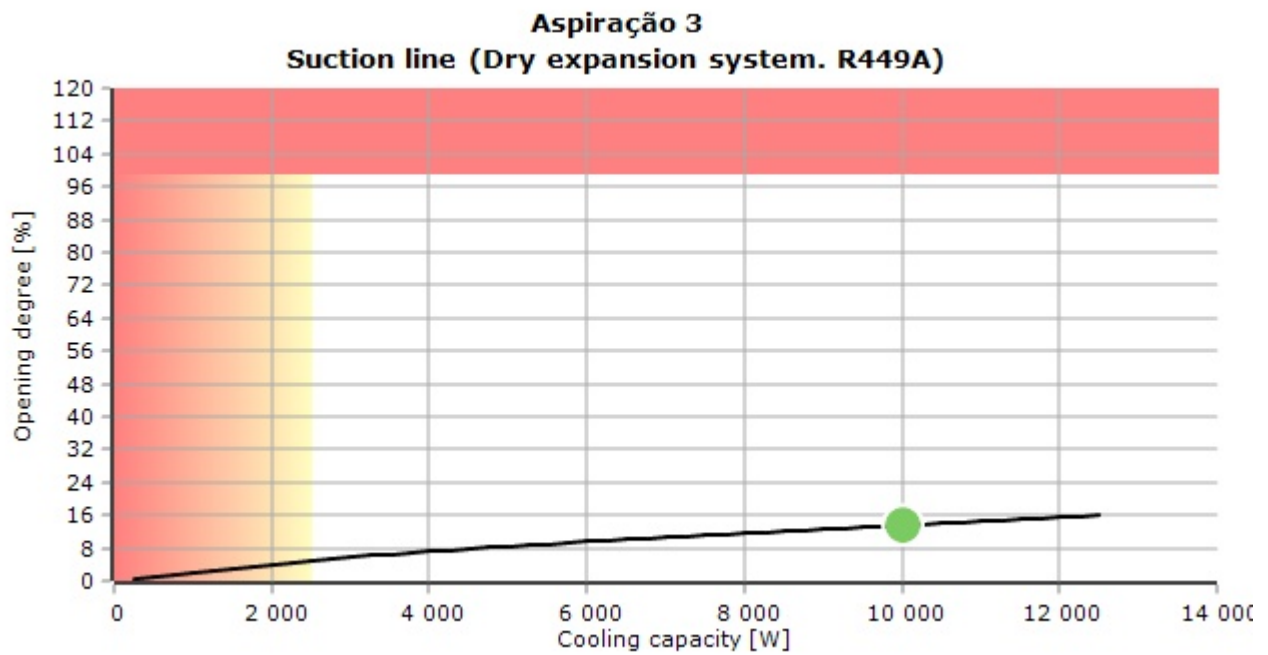
Pressure drop	74810 Pa
Saturation temperature drop	5,0 K

Position 1. Control valve: KVS 42 NS 22



Opening degree	14 %
Pressure drop	74810 Pa
Saturation temperature drop	5,0 K
Velocity, in	3,27 m/s
Valve state	Open
Connection	OK

Performance curve



Coolselector2

Project information

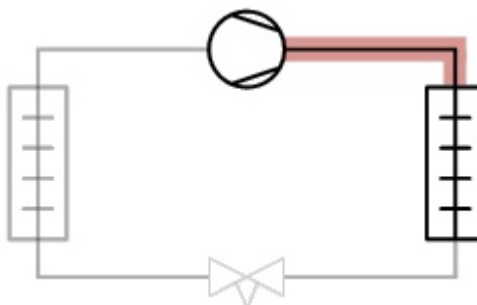
Project name: Retrofit do circuito das câmaras de congelados
 Comments:
 Created by:
 Coolselector2 version: 4.5.2. Database: 75
 Printed: 25 de June de 2021
 Preferences used: All applications

Descarga

Operating conditions

Refrigerant:	R449A	Cooling capacity:	60000 W
Mass flow in line:	0,446 kg/s	Heating capacity:	91570 W
Evaporating dew point temperature:	-23,4 °C	Condensing middle point temperature	40,3 °C
Evaporating pressure:	213900 Pa	Condensing pressure:	1771000 Pa
Evaporating mean temperature:	-25,0 °C	Subcooling:	3,0 K
Useful superheat:	1,0 K	Additional subcooling:	0 K
Additional superheat:	16,0 K		
Discharge temperature:	79,2 °C		

System and line: Dry - Discharge line



Line total

Pressure drop	15130 Pa
Saturation temperature drop	0,3 K

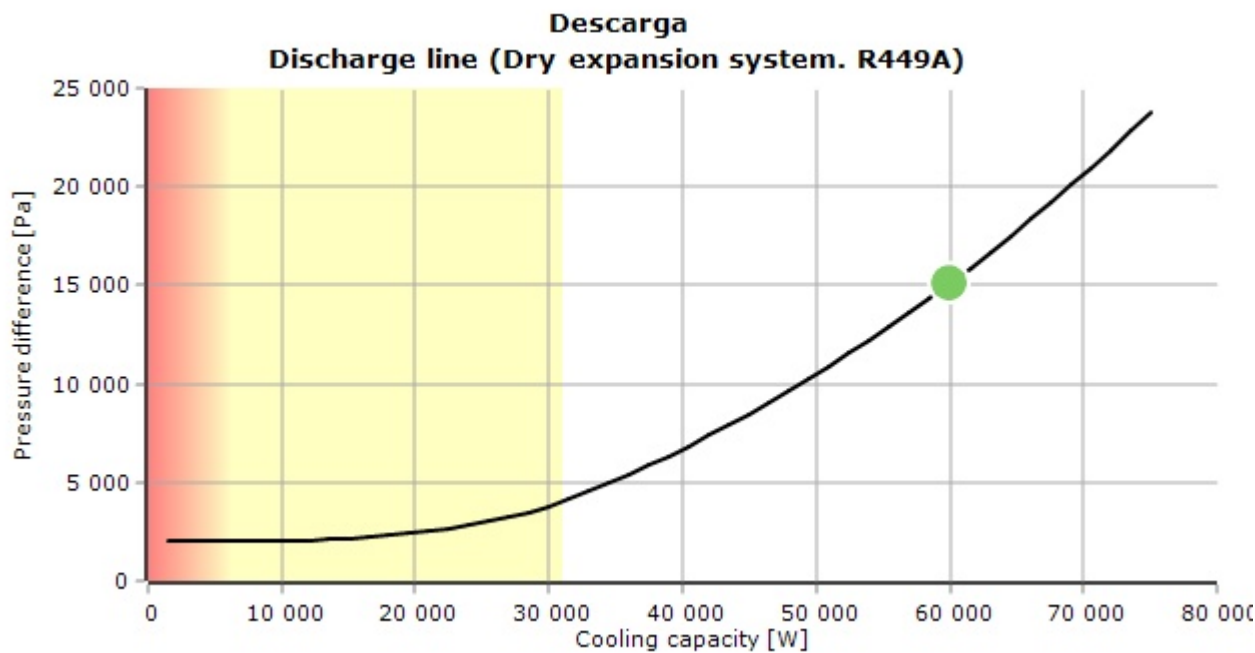
Position 1. Check valve: NRV 28



Pressure drop	15130 Pa
Saturation temperature drop	0,3 K
Velocity, in	14,33 m/s
Valve state	Open
Connection	OK

Coolselector2

Performance curve



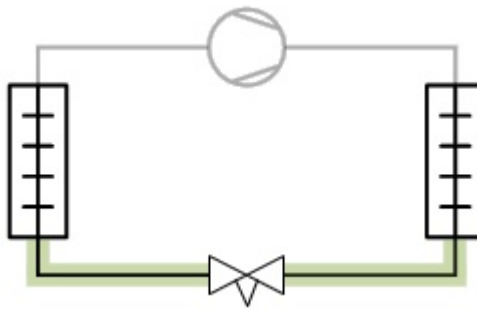
Coolselector2

Líquido 1

Operating conditions

Refrigerant:	R449A	Cooling capacity:	60000 W
Mass flow in line:	0,446 kg/s	Heating capacity:	91570 W
Evaporating dew point temperature:	-23,4 °C	Condensing middle point temperature	40,3 °C
Evaporating pressure:	213900 Pa	Condensing pressure:	1771000 Pa
Evaporating mean temperature:	-25,0 °C	Subcooling:	3,0 K
Useful superheat:	1,0 K	Additional subcooling:	0 K
Additional superheat:	16,0 K		
Discharge temperature:	79,2 °C		

System and line: Dry - Liquid line



Line total

Pressure drop	3724 Pa
Saturation temperature drop	0,1 K

Position 1. Filter drier: DCR 0969-DM NS 29



Pressure drop	688,4 Pa
Saturation temperature drop	0,0 K
Velocity, in	0,67 m/s
Valve state	Open
Connection	OK

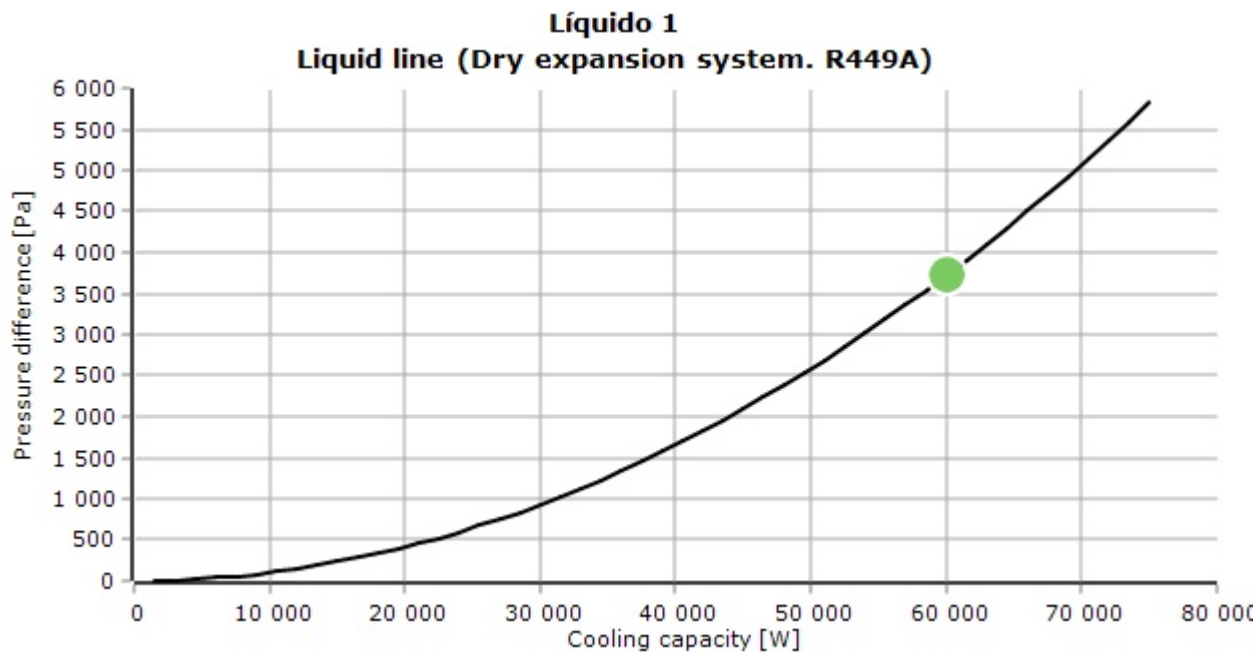
Position 2. Sight glass: SGP 22s NS 29



Pressure drop	3036 Pa
Saturation temperature drop	0,1 K
Velocity, in	1,37 m/s
Connection	OK

Coolselector2

Performance curve



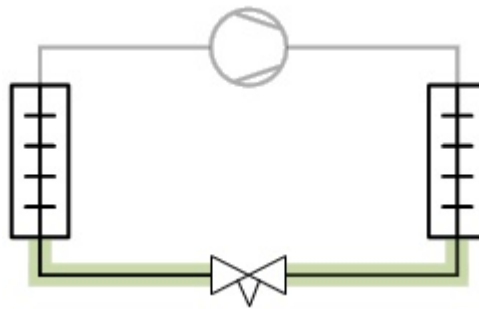
Coolselector2

Líquido 2

Operating conditions

Refrigerant:	R449A	Cooling capacity:	14200 W
Mass flow in line:	0,1055 kg/s	Heating capacity:	21670 W
Evaporating dew point temperature:	-23,4 °C	Condensing middle point temperature	40,3 °C
Evaporating pressure:	213900 Pa	Condensing pressure:	1771000 Pa
Evaporating mean temperature:	-25,0 °C	Subcooling:	3,0 K
Useful superheat:	1,0 K	Additional subcooling:	0 K
Additional superheat:	16,0 K		
Discharge temperature:	79,2 °C		

System and line: Dry - Liquid line



Line total

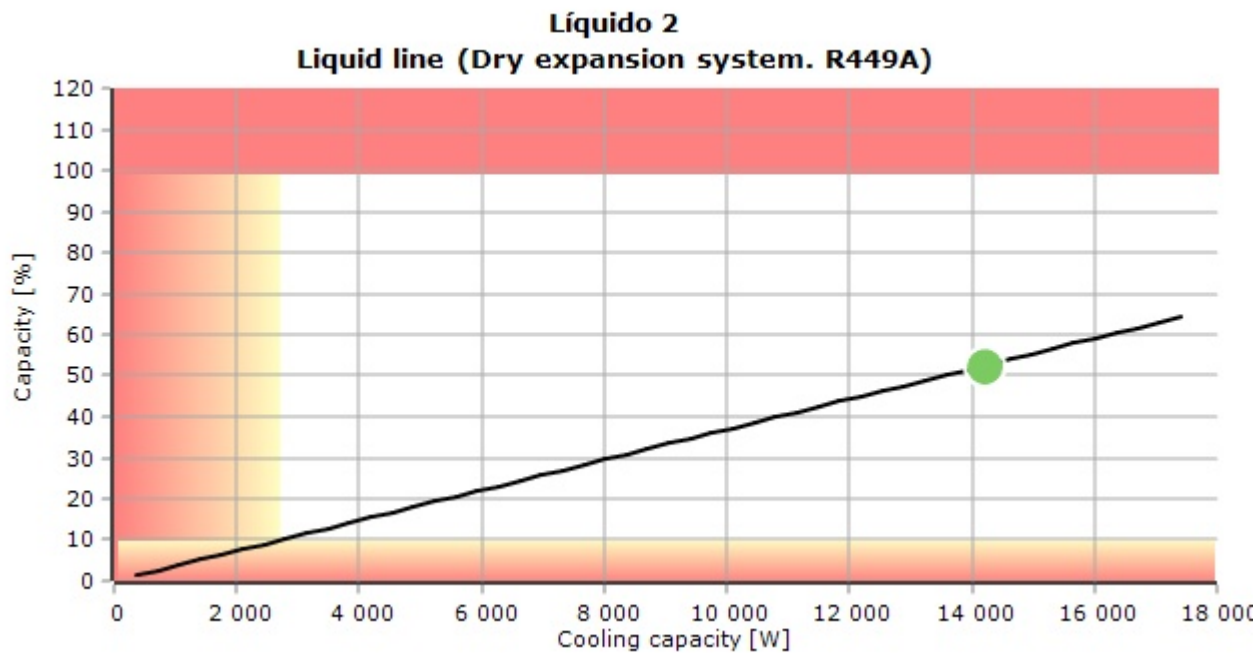
Pressure drop	1558000 Pa
Saturation temperature drop	67,1 K

Position 1. Electronic expansion valve: AKV 15-1 NS 19



Max. capacity	27090 W
Min. capacity	2709 W
Load	52 %
Pressure drop	1558000 Pa
Saturation temperature drop	67,1 K
Velocity, in	0,57 m/s
Valve state	Open
Connection	OK

Performance curve



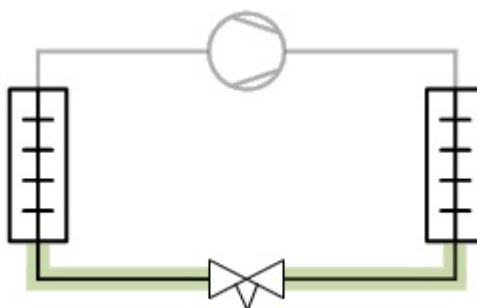
Coolselector2

Líquido 3

Operating conditions

Refrigerant:	R449A	Cooling capacity:	15900 W
Mass flow in line:	0,1182 kg/s	Heating capacity:	24270 W
Evaporating dew point temperature:	-23,4 °C	Condensing middle point temperature	40,3 °C
Evaporating pressure:	213900 Pa	Condensing pressure:	1771000 Pa
Evaporating mean temperature:	-25,0 °C	Subcooling:	3,0 K
Useful superheat:	1,0 K	Additional subcooling:	0 K
Additional superheat:	16,0 K		
Discharge temperature:	79,2 °C		

System and line: Dry - Liquid line



Line total

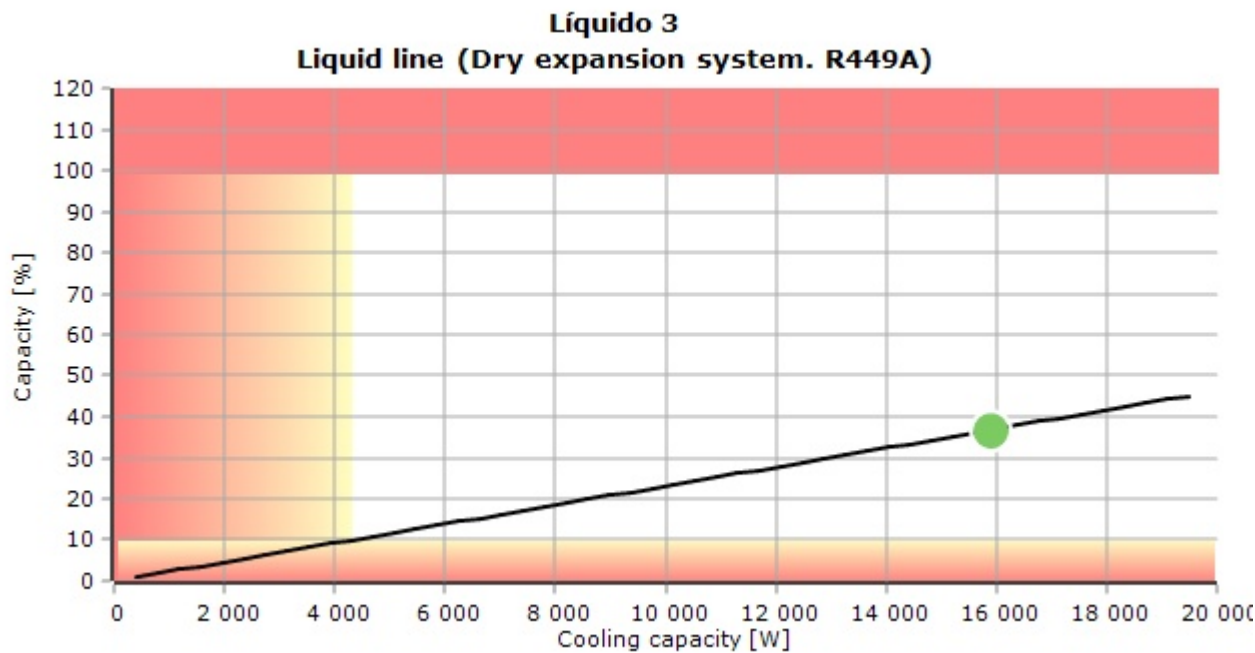
Pressure drop	1558000 Pa
Saturation temperature drop	67,1 K

Position 1. Electronic expansion valve: AKV 15-2



Max. capacity	43200 W
Min. capacity	4320 W
Load	37 %
Pressure drop	1558000 Pa
Saturation temperature drop	67,1 K
Velocity, in	0,64 m/s
Valve state	Open
Connection	OK

Performance curve



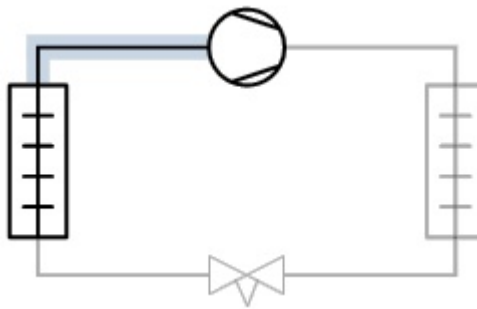
Coolselector2

Aspiração 1

Operating conditions

Refrigerant:	R449A	Cooling capacity:	14200 W
Mass flow in line:	0,1055 kg/s	Heating capacity:	21670 W
Evaporating dew point temperature:	-23,4 °C	Condensing middle point temperature	40,3 °C
Evaporating pressure:	213900 Pa	Condensing pressure:	1771000 Pa
Evaporating mean temperature:	-25,0 °C	Subcooling:	3,0 K
Useful superheat:	1,0 K	Additional subcooling:	0 K
Additional superheat:	16,0 K		
Discharge temperature:	79,2 °C		

System and line: Dry - Suction line



Line total

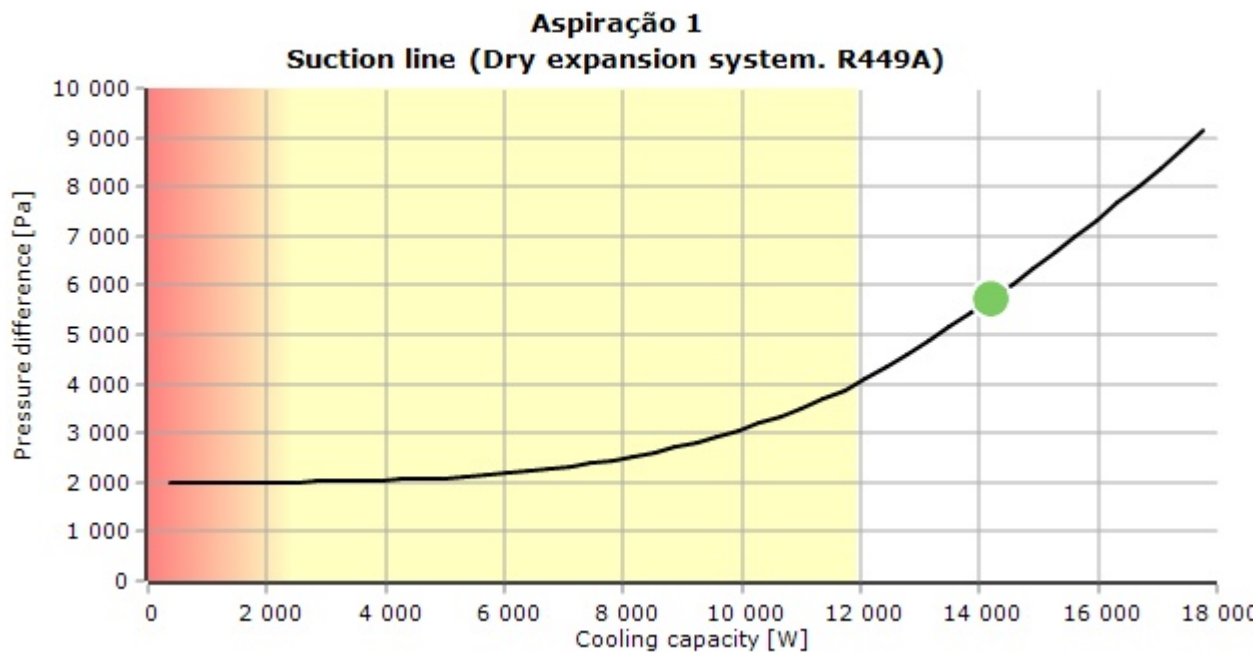
Pressure drop	5728 Pa
Saturation temperature drop	0,7 K

Position 1. Check valve: NRV 28 NS 35



Pressure drop	5728 Pa
Saturation temperature drop	0,7 K
Velocity, in	22,40 m/s
Valve state	Open
Connection	OK

Performance curve



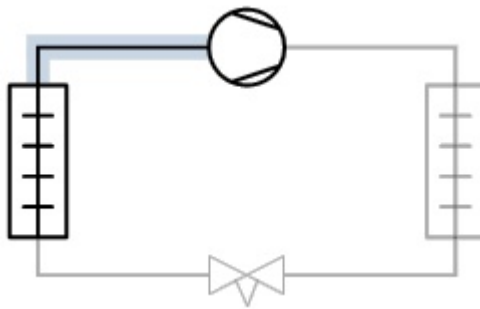
Coolselector2

Aspiração 2

Operating conditions

Refrigerant:	R449A	Cooling capacity:	15900 W
Mass flow in line:	0,1182 kg/s	Heating capacity:	24270 W
Evaporating dew point temperature:	-23,4 °C	Condensing middle point temperature	40,3 °C
Evaporating pressure:	213900 Pa	Condensing pressure:	1771000 Pa
Evaporating mean temperature:	-25,0 °C	Subcooling:	3,0 K
Useful superheat:	1,0 K	Additional subcooling:	0 K
Additional superheat:	16,0 K		
Discharge temperature:	79,2 °C		

System and line: Dry - Suction line



Line total

Pressure drop	17200 Pa
Saturation temperature drop	2,0 K

Position 1. Control valve: KVS 42 NS 41



Opening degree	58 %
Pressure drop	17200 Pa
Saturation temperature drop	2,0 K
Velocity, in	11,09 m/s
Valve state	Open
Connection	OK

Performance curve

